image
not
available

FONDO PROVINCIA

NAZIONALE
BIBLIOTECA
B. · Prov.
VIII
139
VITT. EM. III
NAPOLI

23-C-19

BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio XXVIIIII
Palchetto G
Num.° d' ordine 8

23 C 19

Digitized by Google

131
10

B. Prov.
VIII
139

Digitized by Google

Digitized by Google

641Ü05

Die

allgemeine Bewegung der Materie

als

Grundursache aller Naturerscheinungen.

Von

Heinrich Schramm,

Director der n.-ö. Landes-Oberrealschule in Wiener-Neustadt und k. k. Bezirks-Schulinspector.

BIBLIOTECA NAZIONALE NAPOLI

BIBLIOTECA PROVINCIALE DI NAPOLI

Wien, 1872.

Wilhelm Braumüller, k. k. Hof- und Universitäts-Buchhändler.

Digitized by Google

Digitized by Google

[library stamp]

I.

Das Princip der allgemeinen Bewegung.

Seitdem die moderne Naturwissenschaft bestrebt ist alle Naturerscheinungen auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführen, werden so manche Bedenken rege, ob die Annahme einer allen materiellen Theilchen inne wohnenden Anziehungskraft, wie solche zur Erklärung der allgemeinen Gravitation dient, auch wirklich begründet sei, indem dieselbe wohl zur Erklärung der Bewegung der Himmelskörper, nicht aber zur Erklärung der Molecular-Bewegung und der verschiedenartigen Eigenschaften der Körper ausreicht.

Man war bisher im Stande fast alle hervorragenderen Naturerscheinungen auf die Bewegung als Grundursache zurückzuführen, nur die allgemeine Schwere machte hievon eine eigenthümliche Ausnahme. Während der Schall, die Wärme, die Elektricität u. s. w. eine Bewegung hervorbringen und durch Bewegung hervorgebracht werden können, ist dieses bei der Schwere nicht der Fall; indem die Anziehungskraft wohl eine Bewegung erzeugen, nicht aber durch Bewegung erzeugt werden kann.

Es stellt sich dadurch die jedenfalls sonderbare Anomalie heraus, dass man zur Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper eine Kraft, zur Erklärung der Lichterscheinungen ein eigenes vollkommen elastisches Medium, den Aether, annehmen, diese Annahmen aber wieder ignoriren muss, sobald es sich um die Erklärung gewisser Molecular-Erscheinungen, und um Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus handelt.

Diese Erwägungen gaben bereits Veranlassung zu einzelnen Versuchen, um an die Stelle der kosmischen Anziehung eine andere erklärende Ursache zu setzen. *) Doch gründen sich auch diese

*) Man sehe z. B. C. Puschl, das Strahlungsvermögen der Atome. Wien 1869.

Digitized by Google

Hypothesen auf gewisse unerwiesene Eigenschaften der Atome (Strahlungsvermögen, Anziehungs- und Abstossungskräfte etc.) und setzen sämmtlich die Existenz des Aethers, oder irgend eines ähnlichen Mediums voraus. Soll aber das von der Wissenschaft angestrebte Ziel erreicht, und die Grundursache aller Naturerscheinungen ermittelt werden, so muss diese Grundursache unmittelbar aus den Begriffen Zeit, Raum und Materie hervorgehen, und dabei jede willkürliche und unbegründete Annahme ausgeschlossen bleiben.

Erst wenn sich herausstellen sollte, dass man auf diese Art allein zur Erklärung sämmtlicher Naturerscheinungen nicht gelangt, erst dann wäre man berechtiget auf das Vorhandensein einer besonderen Kraft oder eines den Raum erfüllenden nicht materiellen Mediums zu schliessen.

Dieses ist aber wie ich glaube, und hier nachzuweisen versuchen will, nicht der Fall, indem sich in der That aus den Vorstellungen die wir uns über Zeit Raum und Materie gebildet haben unmittelbar jener Zustand der Bewegung ableiten lässt, in welchem die kleinsten Theile oder Atome der Materie begriffen sein müssen, und welcher als Grundursache aller übrigen Veränderungen betrachtet, und zur einfachen Erklärung der Naturerscheinungen verwendet werden kann.

Um diesen Nachweis zu liefern will ich von folgenden, bisher als richtig anerkannten Voraussetzungen ausgehen:

1. Es existirt ein Raum und in diesem eine Materie durch längere Zeit.

2. Raum und Zeit sind continuirliche homogene Grössen; die Materie aber besteht aus gesonderten Theilchen. (Atomen.)

§. 1. **Vertheilung der Materie im Raume.** Betrachten wir, gestützt auf diese Sätze, einen Raum von beliebiger Ausdehnung, von dem uns nur bekannt ist dass er h materielle Theilchen (Atome) enthält, die wir uns zunächst von gleicher Grösse denken wollen. Diesen materiellen Theilchen müssen wir nothwendiger Weise auch gleiche Eigenschaften zuschreiben; denn es lässt sich kein Grund denken, warum gleiche Theile einer und derselben Materie verschiedene Eigenschaften haben sollten. Wir wollen auch nicht annehmen, dass dieselben auf einander eine Anziehungs- oder eine Abstossungskraft ausüben; denn auch das Vorhandensein einer

Digitized by Google

solchen Kraft müsste erst nachgewiesen werden. Die Annahme einer Anziehungskraft ist eine Hypothese, welche zur Erklärung der gegenseitigen Annäherung der Weltkörper dienen soll; wenn man aber diese Annäherung auf eine andere einfachere Art erklären kann, und diese Erklärungsart auch das Gesetz der Annäherung a priori erkennen lässt was bei dem Newton'schen Attractionsgesetze nicht der Fall ist, so entfällt jeder Grund den materiellen Theilchen eine besondere Kraft beilegen zu wollen.

Dieses zugegeben, denke man sich den Raum, in welchem sich der Voraussetzung nach h Atome befinden, in eine beliebige Zahl n gleicher (allenfalls würfelförmiger) Theile getheilt, so werden auf einen solchen Raumtheil im Durchschnitte

$$\frac{h}{n} = s$$

materielle Theilchen entfallen. Ich sage: im Durchschnitte; denn in der That werden sich diese Atome nicht gleichförmig im Raume vertheilen.

Betrachtet man, um die Art und Weise dieser Vertheilung zu ermitteln, zunächst nur ein Atom; so kann sich dasselbe in jedem beliebigen Raumtheile befinden, und es müsste jede andere Annahme, welche einem bestimmten Raume eine grössere Wahrscheinlichkeit zuschreiben wollte jenes Theilchen zu enthalten, erst begründet werden. So lange man aber den continuirlichen und homogenen Raum nicht in einem speciellen Falle, sondern in vollster Allgemeinheit betrachtet, so lange hat man auch keinen Grund einzelnen Theilen desselben besondere Eigenschaften zuzuschreiben, und muss nothwendiger Weise annnehmen, dass die Wahrscheinlichkeit, das betrachtete materielle Theilchen befinde sich in einem bestimmten Raumtheile, für alle Orte gleich, und zwar bei n Raumtheilen gleich: $\frac{1}{n}$ ist.

Nachdem aber in diesen n Raumtheilen der Vorausetzung noch $h = ns$ Atome vorkommen, so ist die Wahrscheinlichkeit w_r, es werde irgend ein bezeichneter Raumtheil nur r Atome enthalten, nach den bekannten Regeln über zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit:

$$w_r = \binom{h}{r} \cdot \frac{(n-1)^{h-r}}{n^h}$$

Nun ist der Raum im allgemeinen sehr gross, vielleicht auch unbegrenzt gross, so dass sowohl n als auch h als sehr grosse und unbegrenzt wachsende Zahlen angenommen werden müssen; für diesen Fall aber geht die frühere Formel über in:

$$w_r = \frac{1}{e^s} \cdot \frac{s^r}{r!} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2.\ *)$$

Mit e wurde hier, wie üblich, die Grundzahl des natürlichen Logarithmensystems: $e = 2{\cdot}71828\ldots$ bezeichnet.

Unter einer sehr grossen Anzahl A von Raumtheilen, wird, den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung zufolge, die Zahl a_r jener Räume welche nur r Atome enthalten proportional sein der Wahrscheinlichkeit w_r, das ist:

$$\frac{a_r}{A} = w_r$$

Wenn man nun für r nach und nach alle möglichen Werthe 0, 1, 2, . . . u. s. w. setzt, und dadurch keine mögliche Combination von Atomen von der Rechnung ausschliesst, so erhält man für die **wahrscheinlichste** Vertheilung der Atome im Raume folgende Zahlen:

In $a_0 = \frac{A}{e^s}$ Raumtheilen werden sich je 0 Atome vorfinden
„ $a_1 = \frac{A}{e^s} \cdot \frac{s}{1}$ „ „ „ „ 1 „ „
„ $a_2 = \frac{A}{e^s} \cdot \frac{s^2}{2!}$ „ „ „ „ 2 „ „ . . (3)
u. s. w. . . . .
„ $a_r = \frac{A}{e^s} \cdot \frac{s^r}{r!}$ Raumtheilen werden sich je r Atome vorfinden

Je grösser man die Zahl r nimmt, d. h. eine je grössere Anzahl von verschiedenen Fällen man als möglich zugibt, desto mehr wird sich die Summe der Wahrscheinlichkeiten

$$w_0 + w_1 + \ldots + w^r = \frac{1}{e^s}\left(1 + \frac{s}{1} + \frac{s^2}{2!} + \ldots + \frac{s^r}{r!}\right) \doteq \frac{e^s}{e^s} = 1$$

der Einheit nähern, welche als Zeichen der Gewissheit gilt.

---

*) Ist unter Umständen auch r eine sehr grosse Zahl, so kann man sich zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit w_r. wegen:

$$r! = r^r \cdot e^{-r} \sqrt{2r\pi}\left(1 + \frac{1}{12r} + \frac{1}{288r^2} + \ldots\ldots\right),$$

auch der Formel bedienen:

$$w_r = \frac{1}{e^s \sqrt{2r\pi}} \cdot \left(\frac{es}{r}\right)^r$$

Digitized by Google

Um sich eine derartige Vertheilung der Materie leichter vorstellen zu können, denke man sich den Raum in ebensoviele Theile getheilt, als darin Atome vorkommen. Es ist dann wegen $n=h$ auch $\frac{h}{n}=s=1$ und die Gleichungen (3) gehen über in:

$$w_0=\frac{A}{e};\ w_1=\frac{A}{e};\ w_2=\frac{A}{e \cdot 2!};\ \text{u. s. w.} \ldots w_r=\frac{A}{e.r!}$$

Es würden sich dann auf A=1.000.000 Raumtheile die Atome derart vertheilen, dass:

367880	Raumtheile	je	0	Atome	enthalten,
367880	"	"	1	"	"
183940	"	"	2	"	"
61312	"	"	3	"	"
15328	"	"	4	"	"
3066	"	"	5	"	"
511	"	"	6	"	"
73	"	"	7	"	"
9	"	"	8	"	"
1	"	"	9	"	"

§. 2. **Wahrscheinlichkeit des Ruhezustandes und Wahrscheinlichkeit der Bewegung.** Wir sehen aus diesen Zahlen, dass die Materie im Raume nicht gleichmässig vertheilt ist, und in dieser Ungleichmässigkeit der Vertheilung liegt gewissermassen das Princip der Bewegung.

Sobald wir nämlich zu den Begriffen Raum und Materie noch jenen der Zeit hinzufügen, so sprechen wir dadurch schon indirect aus, dass die Materie in Bewegung begriffen sein müsse, indem wir ohne Bewegung die Zeit nicht messen, ja nicht einmal wahrnehmen könnten.

Werden aber Raum und Materie zu verschiedenen Zeiten betrachtet, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass in einem bestimmten Augenblicke auch eine bestimmte Gruppirung der Atome, in der Weise wie sie oben besprochen wurde, eintreffen wird, sehr klein, und lässt sich durch den Bruch $\frac{1}{N}$ ausdrücken, wenn man mit N die Anzahl aller möglichen und von einander verschiedenen Gruppirungen jener $a_0, a_1, a_2 \ldots a_r$ Raumtheile mit je 0, 1, 2.....r Atomen bezeichnet. N stellt demnach die Anzahl der Permutationen von A Elementen vor, unter welchen sich die Gruppen von

Digitized by Google

$a_0, a_1, a_2 \ldots a_r$ gleichen Elementen vorfinden, und wird berechnet aus der Formel:

$$N = \frac{A!}{a_0!\, a_1!\, a_2! \ldots a_r!}$$

Nachdem $a_0 + a_1 + a_2 + \ldots + a_r = A$ ist, so lässt sich leicht nachweisen, dass in jedem Falle $N \geqq A$ sein muss, und es wird die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Vertheilung der Atome, selbst wenn wir für N den kleinsten Werth $N = A$ annehmen, ausgedrückt werden durch:

$$W = \frac{1}{A}$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist schon an und für sich sehr klein; noch viel kleiner aber wird die Wahrscheinlichkeit, dass eine und dieselbe Gruppirung der Atome t Zeittheile hindurch den Ort nicht ändert; denn diese Wahrscheinlichkeit wird durch den Bruch

$$W_1 = \frac{1}{A^t}$$

ausgedrückt, der sich bei halbwegs grossen Zahlenwerthen für A und t sehr rasch der Nulle nähert.

Dagegen nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass in t Zeiteinheiten jede mögliche Permutation der Atomgruppen ein oder mehreremale eintreten kann, stetig zu, je grösser t angenommen wird, und nähert sich ohne Ende der Gewissheit.

Es lässt sich dieses mit Hilfe derselben Formeln (3) beweisen, die für die wahrscheinlichste Vertheilung der Materie früher abgeleitet worden sind; man hat sich darin nur für n, die Zahl N und für A die Zahl t zu denken.

Zu demselben Resultate würde man auch gelangen, wenn man einen einzelnen Raumtheil, t Zeittheile hindurch betrachten wollte. Auch hier wäre jene Vertheilung der Atome auf die nach einander folgenden Zeittheile die wahrscheinlichste, welche dem in den Formeln (3) ausgedrückten Gesetze entspricht: während die Wahrscheinlichkeit, es werde jedes Massentheilchen in einem und demselben Raumtheile, t Zeittheile hindurch bewegungslos verharren, sich ohne Ende der Nulle nähert.

Hieraus ergiebt sich der Satz: Der wahrscheinlichste Zustand der Materie ist der Zustand der Bewegung.

§. 3. **Art der Bewegung der Atome.** Das soeben aus den Begriffen Raum, Zeit und Materie abgeleitete Resultat wird durch

Digitized by Google

die Beobachtung bestätiget und dürfte somit kaum angezweifelt werden. Es handelt sich nun auch darum die Art der Bewegung kennen zu lernen, und dieses kann in folgender Weise geschehen:

Betrachtet man wieder einen einzelnen Raumtheil V, und denkt sich dessen Umgebung in n gleiche strahlenförmige Kegel- (oder Pyramidal-) Räume getheilt; so ist es wohl klar, dass jedes in Bewegung begriffene Theilchen, welches nach V gelangen soll, durch irgend einen dieser Kegelräume ziehen muss. Es lässt sich aber aus dem Begriffe eines continuirlichen nach allen Seiten hin homogenen Raumes der Schluss ziehen, dass man im allgemeinen keine Richtung angeben kann, von welcher regelmässig mehr Atome nach V kommen müssten als von anderen Richtungen. Wenn nun in einer bestimmten Zeit T durch jeden Strahlenraum durchschnittlich s Atome nach V gelangen, so ist die Wahrscheinlichkeit dass in irgend einem Zeittheile nur r Atome durch einen Strahlenraum ziehen werden (siehe Formel 2):

$$W = \frac{1}{e^s} \cdot \frac{s^r}{r!}$$

Nimmt man T so gross an dass $s = 1$ wird, (was immerhin möglich ist,) und benützt zur Berechnung der wahrscheinlichsten Vertheilung der Atome wieder die in (3) entwickelten Formeln, so ergibt sich dass unter 1000 um einen Punkt nach allen Richtungen vertheilten Strahlenräumen:

durch	368	Räume	je	0	Atome	
„	368	„	„	1	„	
„	184	„	„	2	„	
„	61	„	„	3	„	
„	15	„	„	4	„	
„	3	„	„	5	„	u. s. w.

gegen den Raum V ziehen werden. Ganz dieselbe Ungleichheit wird sich auch herausstellen, wenn man einen einzelnen Strahlenraum 1000 Zeitheile hindurch beobachtet. Trotz dieser Ungleichheit wird sich aber die Durchschnittszahl der durch einen Kegelraum ziehenden Atome desto mehr einem constanten Werthe nähern, je länger die betrachtete Bewegung dauert, je mehr Zeittheile man also in Betracht zieht.

Digitized by Google

Es folgt dieses unmittelbar aus der Formel (2) die früher für die wahrscheinlichste Vertheilung gleich wahrscheinlicher Ereignisse abgeleitet wurde. So z. B. würden unter 1,000.000 Raumstrahlen, welche um einen Punkt nach allen Richtungen gleichmässig vertheilt sind, durch einen Strahl Atome ziehen:

in der Zeit τ durchscnittlich 1 Atom, höchstens 9 Atome.

$$\text{Verhältniss } \frac{9}{1} = 9$$

in der Zeit 100τ durchschnittlich 100 Atome, höchstens 149 Atome,

$$\text{Verhältniss } \frac{149}{100} = 1{\cdot}49$$

in der Zeit 10000τ durchschnittl. 10000 Atome, höchstens 10409 Atome.

$$\text{Verhältniss } \frac{10409}{10000} = 1{\cdot}0409 \text{ u. s. w.}$$

Es nähert sich demnach das Verhältniss der höchsten Anzahl zur mittleren Anzahl der durch einen Punkt nach allen Richtungen ziehenden Atome desto mehr der Einheit, je länger der Zeitraum ist den man in Betracht zieht.

Diese Bewegung der Atome wird ferner geradlinig und gleichförmig sein. Wer dieses nicht zugeben wollte, der müsste nothwendiger Weise an einzelnen Orten des Raumes gewisse Kräfte oder Ursachen voraussetzen, welche eine Ablenkung von der geraden Richtung, eine Beschleunigung oder Verzögerung der Bewegung hervorbringen könnten.

So lange man aber sowohl den Raum als auch die Materie in dieser Allgemeinheit betrachtet, die Atome alle gleich annimmt, und denselben keine Anziehungs- oder Abstossungskraft beimisst, so lange muss man auch die oben erwähnte Voraussetzung localer Einflüsse als unberechtiget zurückweisen, und nur die oben bezeichnete Bewegung als die wahrscheinlichste betrachten.

§. 4. **Grundprincip der Bewegung.** Fassen wir nun die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen, so erhalten wir folgenden Satz, den wir als Princip der allgemeinen Bewegung den weiter folgenden Schlüssen zu Grunde legen wollen;

Die aus Atomen bestehende Materie befindet sich im Zustande der Bewegung. Sind in einem Raume nur Atome gleicher Grösse, so bewegen sich dieselben geradlinig und gleichförmig nach allen Seiten des Raumes. Die Zahlen der in gleichen Zeiten durch denselben Raum ziehenden Atome sind im allgemeinen un-

Digitized by Google

gleich, nähern sich aber desto mehr einem constanten Werthe je längere Zeitabschnitte man in Betracht zieht:

Es folgt schon aus der streng mathematischen Ableitung dieses Principes, dass man dasselbe weniger als Hypothese, sondern viel mehr als einen Lehrsatz betrachten müsse, der sich als unmittelbare Folge unserer Vorstellungen von Zeit Raum und Materie darstellt. Dieses Princip muss, wenn es richtig ist, in allen seinen Consequenzen mit der Natur in vollster Uebereinstimmung stehen, und dieses ist in der That auch der Fall; denn es lässt sich durch fortgesetzte Schlussfolgerungen nachweisen, dass man nicht nur die molecularen Eigenschaften der Körper, die verschiedenen Aggregats-Zustände derselben, u. s. f., sondern auch jene allgemeine Annäherung der Weltkörper, die man mit dem Namen Gravitation bezeichnet, und einer Anziehungskraft der Materie zuschreibt, auch ohne Annahme irgend welcher Anziehungs- oder Abstossungskraft aus dem genannten Principe der allgemeinen Bewegung erklären könne, und dass endlich diejenige Art von Molecularbewegung wie sie Clausius, Krönig u. a. hypothetisch zur Erklärung der Wärmeerscheinungen angenommen haben, *) in demselben Principe ihre Begründung findet.

Bevor ich jedoch daran gehe diesen Nachweis zu liefern, möchte ich noch einen möglicherweise zurückgebliebenen Zweifel beseitigen. Es könnte nämlich die Frage aufgeworfen werden: „Woher stammt eine solche Bewegung der Atome? Ist es nicht nöthig deren Entstehung dennoch einer Kraft zuzuschreiben?"

Hierauf lässt sich antworten, dass allerdings einstens etwas vorhanden gewesen sein musste, was die beschriebene Bewegung hervorgebracht hat. Will man dieses „Etwas" mit einem Namen bezeichnen so nenne man es immerhin eine Kraft. Eine solche momentane Kraft kann sich der Mensch auch leicht vorstellen, indem er selbst im Stande ist dieselbe durch einen Stoss u. s. w. willkürlich zu erzeugen; nicht so leicht aber ist die Vorstellung einer continuirlichen Anziehungskraft, welche der Materie selbst anhaften und ohne Medium durch den Raum auf entfernte Körper wirken soll.

*) Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie von R. Clausius. II. Abtheilung. „Ueber die zur Erklärung der Wärme angenommenen Molecularbewegungen.

Digitized by Google

Endlich kann es für die Wissenschaft ziemlich gleichgiltig sein ob die letzte Ursache, auf welche man alles zurückführt eine Kraft oder eine Bewegung ist; wenn es eben nur nicht vier Kräfte und fünf Bewegungen sein müssen, wie man es heutzutage noch zur Erklärung der Naturerscheinungen anzunehmen genöthigt ist. *)

Die mechanische Wärmetheorie, welche mit Recht als eine der grössten Errungenschaften der neueren Zeit angesehen wird, basirt nur auf dem Zustande der Bewegung und Clausius selbst betitelt seine Abhandlung XIV: „Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen." Ich glaube demnach nicht fehl zu gehen, wenn ich auf dem bereits eingeschlagenen Wege fortschreitend, es versuche, auch alle übrigen Naturerscheinungen auf die Bewegung als letzte Ursache zurückzuführen.

§. 4. **Beschaffenheit der Atome.** Die kleinsten Bestandtheile unserer Körper haben eine so geringe räumliche Ausdehnung, dass wir dieselben auch bei stärkster Vergrösserung nicht sehen können. Trotzdem hat man sich in der Wissenschaft bereits eine gewisse Vorstellung von Atomen gebildet, und sich dieselben als runde vollkommen elastische (oder starre) Körperchen von verschiedener Grösse gedacht, welche in verhältnissmässig sehr grossen Abständen im Raume vertheilt sind.

Diese Vorstellung ist auch unter allen möglichen Annahmen die wahrscheinlichste, und entspricht den beobachteten physikalischen Eigenschaften der Körper am besten.

Dass die Atome verschiedene Grösse haben müssen entnehmen wir aus der Verschiedenheit in der Härte und Dichte der Körper; denn man könnte unmöglich annehmen, dass z. B. Platin und Glas, oder Quecksilber und Wasser Atome gleicher Grösse (Masse) haben sollten.

Dass die Entfernung der Atome verhältnissmässig gross sein müsse, lässt sich schon aus der bedeutenden Zusammendrückbarkeit der meisten Körper namentlich in gasförmigem

*) Diese vier Kräfte und fünf Bewegungen sind, nach Friedrich Mohr's „Allgemeiner Theorie der Bewegung und Kraft" (Braunschweig 1869):

A. Bewegungen: 1. Massenbewegung, 2. Wärme, 3. Licht. 4. strömende Elektricität, 5. Chemische Bewegung (Affinität). — B. Kräfte: 1. Schwerkraft, 2. Magnetismus. 3. Spannungselektricität. 4. Cohäsion.

Digitized by Google

Zustande entnehmen, und kann auch sonst als sehr wahrscheinlich nachgewiesen werden. *)

Die wahrscheinlichste Form der Atome ist jene der Kugel, als eines nach allen Richtungen hin gleichmässig ausgedehnten Körpers. Es ist damit allerdings die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass auch andere Formen vorkommen können; doch müsste die Annahme einer von der Kugelgestalt abweichenden Form der Atome in jedem einzelnen Falle erst gerechtfertiget werden.

---

*) Man betrachte einen beliebigen Raum von der Grösse R^3, in welchem sich h Atome befinden, und denke sich denselben in so kleine Theile eingetheilt, dass in einem Theile höchstens ein Atom vom Durchmesser ρ Platz hat. Die Anzahl n dieser Raumtheile wird gleich sein.

$$n = \frac{R^3}{\rho^3}$$

und es werden durchschnittlich $s = \frac{h}{n} = \frac{h\rho^3}{R^3}$ Atome auf einen Raumtheil entfallen. Bezeichnet ferner r die durchschnittliche Entfernung und c die Geschwindigkeit der Atome, so ist $\frac{R^3}{h} = r^3$; daher $s = \left(\frac{\rho}{r}\right)^3$ und es berechnet sich die Zeit τ, welche ein Atom braucht um von einem der gedachten Raumtheile in einen benachbarten zu gelangen, aus des Formel: $\tau = \frac{\rho}{c}$.

Wenn man nun einen einzelnen Raumtheil A Zeittheile hindurch, von der Dauer τ beobachtet, so wird in demselben die wahrscheinlichste Abwechslung derart vor sich gehen, dass (nach Formel (3)) in demselben enthalten sein werden:

während	$a_0 = \frac{A}{e^s}$	Zeittheilen je	0 Atome
„	$a_1 = \frac{A}{e^s} \cdot \frac{s}{1}$	„ „	1 „
„	$a_2 = \frac{A}{e^s} \cdot \frac{s^2}{2}$	„ „	2 „ u. s. w.

Nachdem aber in dem gedachten Raumtheile nur ein Atom Platz hat, so muss die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Zusammentreffen zweier Atome: $W = \frac{s^2}{2e^s}$, sehr klein sein, was nur möglich ist, wenn auch $s = \left(\frac{\rho}{r}\right)^3$ also auch das Verhältniss des Durchmessers der Atome zur mittleren Entfernung derselben $\frac{\rho}{r}$ sehr klein ist. Hieraus lässt sich auch die Zeit t berechnen, innerhalb welcher ein Zusammenstoss zweier Atome wahrscheinlich ist; diese Zeit t ist gleich:

$$t = \frac{\rho}{32c}\left(\frac{r}{\rho}\right)^6 = \frac{\rho}{32cs^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Digitized by Google

Dass endlich die Atome als vollkommen elastische Körper gedacht werden müssen, liegt ebenfalls nahe; indem schon mit Rücksicht auf das empirisch erwiesene Gesetz der Erhaltung der Kraft vorausgesetzt werden muss, dass bei Zusamenstössen kein Theil der lebendigen Kraft verloren geht. Es würde auch die Annahme unelastischer Atome dem früher abgeleiteten Principe der allgemeinen Bewegung der Materie insoferne widersprechen, als durch den allmähligen Verlust an Geschwindigkeit nach jedem Zusammenstosse, endlich ein gänzlicher Stillstand der Atome eintreten müsste, was nach dem in §. 2 bewiesenen von äusserst geringer Wahrscheinlichkeit ist.

§. 5. **Schwingende Bewegung der Atome.** So einfach die früher abgeleitete Elementarbewegung der Materie auf den ersten Blick erscheinen mag, so mannigfach zeigt sich dieselbe in ihren Wirkungen sobald Atome verschiedener Grösse zusammen kommen.

Angenommen es sei inmitten eines mit kleineren Atomen von der Masse m erfüllten Raumes ein grösseres Atom M, in ruhendem Zustande, welches ich zur leichteren Unterscheidung von den ersteren Molecül nennen will. *) Die Atome stossen während ihrer Bewegung nach und nach von verschiedenen Seiten auf dieses Molecül, und ertheilen ihm in der Richtung eines jeden Stosses eine Geschwindigkeit C welche der Gleichung:

$$C = \frac{2mc}{M+m}$$

entspricht, wenn mit c die Geschwindigkeit der Atome bezeichnet wird.

Das Molecül wird sich nach jedem Stosse so lange gleichförmig in der Richtung der Resultirenden fortbewegen bis ein neuer Stoss Richtung und Geschwindigkeit wieder geändert hat. Man kann sich nun mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung überzeugen, dass durchschnittlich je zwei aufeinanderfolgende Stösse das Molecül von entgegengesetzten Seiten treffen werden; denn wäre das Molecül durch eine Ebene in zwei gleiche Theile o und u abgetheilt, so wäre die Wahrscheinlichkeit eines Stosses für jede Hälfte des Molecüles gleich $\frac{1}{2}$, und es würden nach dem

*) Ohne damit eine besondere Gattung der Atome bezeichnen zu wollen.

Digitized by Google

Gesetze der wahrscheinlichsten Vertheilung (§. 1. Formel 1.) von je 8 auf das Molecül fallenden Atomen, wenn man dieselben paarweise in ihrer Aufeinanderfolge betrachtet, die Oberflächenhälfte O treffen:

in einem Falle je 0 Atome
in zwei „ „ 1 „
in einem „ „ 2 „

Dieses gilt natürlich auch für die andere Hälfte *u*, und es geht daraus hervor, dass man im Durchschnitte aus sehr vielen Fällen folgende Reihenfolge der Stösse als die wahrscheinlichste ansehen kann:

Entweder: *ou ou uo uo* u. s. w. oder *ou uo ou uo* u. s. w.

Es werden demnach im Durchschnitte je zwei Stösse von entgegengesetzten Seiten mit einander abwechseln, und zwar geschieht dieses wie sich von selbst versteht in allen möglichen Richtungen.

Denkt man sich diese Einwirkung so lange fortgesetzt, bis die Atome von allen Seiten her in nahezu gleicher Anzahl (§. 3) an das Molecül gelangt sind, so dass jedem Stosse von einer Seite ein Gegenstoss von der andern Seite entspricht, welcher dem Molecüle dieselbe Geschwindigkeit *C* wie der Erstere, aber in entgegengesetzter Richtung ertheilt, so wird das Molecül in schwingende Bewegung versetzt.

Es ist auch leicht einzusehen, dass die Umhüllungsfläche der so entstandenen Bewegung im allgemeinen eine Kugelfläche sein wird, indem die Atome, wie in §. 2 nachgewiesen wurde, das Molecül von allen Seiten in nahezu gleich grosser Anzahl treffen.

Die Schwingungsweite, respective der Radius dieser Wellenfläche wird innerhalb gewisser Grenzen veränderlich sein, sich aber im Mittel dem Producte $C\,dt$ nähern, wenn dt das Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stössen und C die dem Molecüle ertheilte mittlere Geschwindigkeit bezeichnet.

In der beigefügten Tafel sind diese Schwingungen in Fig. 1 versinnlichet. Die zackigen Linien bezeichnen den Weg, welchen das Molecül von seiner Ruhelage aus nach allen Richtungen des Raumes beschreibt.

§. 6. **Widerstand des Mittels bei fortschreitender Bewegung.** Wenn das betrachtete Molecül *M* selbst eine eigene, mit der Geschwindigkeit *C* fortschreitende Bewegung

Digitized by Google

besitzt, so werden die in der Richtung dieser Bewegung durch den Raum ziehenden Atome an das Molecül mit geringerer Geschwindigkeit $(c-C)$, die in entgegengesetzter Richtung ziehenden mit grösserer Geschwindigkeit stossen, und dadurch die Bewegung des Molecüles verzögern.

Die Geschwindigkeitsabnahme lässt sich nach den bekannten Gesetzen des Zusammenstosses elastischer Kugeln berechnen. Denkt man sich nämlich es würden nur zwei Atome in entgegengesetzten Richtungen gegen das Molecül stossen; so beträgt die dadurch entstehende Abnahme der Geschwindigkeit C:

$$dC = -\frac{4\,mc}{M+m}$$

und zwar unabhängig von dem Winkel, unter welchem die Richtung der Atome die Richtung des Molecüles begegnet.

Wenn man nun den Radius des Molecüles mit ρ, und die Anzahl der Atome, welche in der Zeit dt die Oberfläche des Letzteren treffen mit $2n$ bezeichnet, so dass $2nm$ ihre Masse vorstellt; wenn man ferner voraussetzt, dass die Masse eines Atomes m gegenüber M sehr klein ist, so wird offenbar die Geschwindigkeitsabnahme, welche jene $2n$ Atome bewirken n mal so gross sein, als jene, welche von zweien bewirkt worden ist, und zwar:

$$d_1 C = -\frac{4nmC}{M}$$

Bezeichnet man endlich, um alles auf das Einheitsmass zurückzuführen, die Masse der in der Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit auffallenden Atome mit m^1, so wird die Masse 2nm, welche in der Zeit dt auf die Oberfläche $4\rho^2\pi$ des Molecüles entfällt gleich sein:

$$2nm = 4\rho^2\pi m' dt$$

und dieses in $d_1 C$ substituirt gibt:

$$\frac{d_1 C}{C} = -\frac{8\rho^2\pi . m'}{M}\, dt \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

und integrirt zwischen den Grenzen C_0 (der anfänglichen Geschwindigkeit) und C (der Geschwindigkeit nach der Zeit t):

$$l.\,C = l.\,C_0 - \frac{m'}{M} \cdot 8\rho^2\pi t \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Diese Gleichung sagt uns, dass die Geschwindigkeit des Molecüles unter den genannten Bedingungen fortwährend abnehmen wird, ohne jemals völlig Null zu werden.

Digitized by Google

Wir haben uns bei dieser Rechnung die Wirkung der Stösse continuirlich gedacht, was in der Wirklichkeit nicht der Fall ist; denn es mögen die Stösse noch so schnell einander folgen, eine gewisse Zeit wird zwischen je zweien derselben dennoch vergehen, und während dieser Zeit wird das von irgend einer Seite getroffene Molecül der Richtung des Stosses folgen. Dadurch wird aber neben der fortschreitenden Bewegung noch eine schwingende Bewegung erzeugt, ähnlich wie sie in dem vorhergehenden Paragraphen beschrieben worden ist.

Bei dieser zusammengesetzten Bewegung des Molecüles können nun folgende 2 Hauptfälle eintreten:

1. Ist m gegenüber M sehr klein, so wird auch die schwingende Bewegung gegenüber der fortschreitenden sehr klein ausfallen, und in demselben Masse als die Geschwindigkeit C abnimmt, wird c durchschnittlich zunehmen.

2. Sind m und M gleich oder doch an Grösse nicht sehr verschieden, so tauschen Atome uud Molecüle nach jedem (centralen) Zusammenstosse Richtung und Geschwindigkeit aus; es kann dann von einer gleichmässigen Abnahme der Geschwindigkeit C, wie sie durch die Formel (6) dargestellt wird, nicht mehr die Rede sein, indem die schwingende Bewegung mit der fortschreitenden zusammenfällt.

Bemerkenswerth ist es, dass auch die in §. 3 bezeichnete einfachste und wahrscheinlichste Bewegung gleicher Atome eine Art schwingender Bewegung vorstellt; denn es wird ein jedes Atom so lange im Raume geradlinig fortziehen, bis ihm ein zweites entgegenkommt, und es zurückwirft. Nachdem aber beide Atome gleiche Masse und gleiche Geschwindigkeit haben, so wird die Reflexion dieser Atome in der Regel derart erfolgen, dass jedes derselben in derjenigen Richtung zurückgeworfen wird, von welcher das andere herkam. Dadurch aber setzt jedes Atom den Weg des andern im Raume fort, und die gesammte Bewegung muss den Eindruck machen, als wenn jedes Theilchen in gerader Richtung unbehindert fortzöge.

Diese Art schwingender und fortschreitender Bewegung könnte man allenfalls mit dem Namen „zusammenhängende Schwingungen" bezeichnen. Diese Bewegungsform ist in Fig. 2 bildlich dargestellt.

Digitized by Google

Dass endlich bei den beschriebenen Zusammenstössen auch drehende Bewegungen der Molecüle vorkommen müssen, braucht wohl kaum erst bewiesen zu werden.

§. 7. **Gesetz der gegenseitigen Annäherung.** (**Gravitation.**) Wenn sich innerhalb eines mit kleinen Atomen erfüllten Raumes zwei oder mehrere grössere Atome (Molecüle) im Ruhezustande befinden, so üben die Ersteren auf die Letzteren jene Wirkung aus, die wir sonst einer Anziehungskraft zuzuschreiben pflegen.

Um sich hievon zu überzeugen denke man sich swischen den in Bewegung begriffenen Atomen m zunächst nur zwei grössere Molecüle M und M_1 (Fig. 6). Dieselben werden von allen Seiten des Raumes Atomstösse empfangen, mit Ausnahme von jenen Seiten J und J_1, welche einander zugekehrt sind; denn die in der Richtung $A A_1$ und umgekehrt, innerhalb eines Winkelraumes vom Winkelradius α ziehenden Atome prallen an den Aussenflächen der Molecüle ab, werden in den übrigen Weltraum reflectirt, und können somit die inneren Seiten nicht treffen.

Dadurch kann der Oberflächentheil J (und J_1) innerhalb des Winkelraumes α nur jene Atome empfangen, welche von der ihm zugekekrten Oberfläche J_1 (resp. J) reflectirt worden sind; nachdem aber jede Reflexion eines Atomes eine gewisse, wenn auch sehr kleine Zeit τ in Anspruch nimmt, während welcher das Atom seine Geschwindigkeit nach einer Richtung einbüssen, nach einer anderen Richtung wieder erlangen muss, so gelangen die reflectirten Atome, von welchen durchschnittlich in der Zeit t je eines einen bestimmten Punkt der Oberfläche J getroffen hätte, erst nach der Zeit $t+\tau$ zum Stosse.

Während also die Aussenseite A der Molecular-Oberfläche m' Atome treffen, stossen gegen die Seite J nur $m' \cdot \frac{t}{t+\tau}$ Atome, so dass sich an der Aussenseite A ein Ueberschuss von.

$$m' \cdot \frac{\tau}{t+\tau} = m' k$$

zeigt, dessen Stosskraft das Molecül M dem Molecüle M_1 zu nähern strebt. Die Grössen t und τ hängen nur von der Entfernung und der lebendigen Kraft der Atome ab; so lange sich diese nicht ändern, kann auch die Verhältnisszahl k als constant betrachtet werden.

Digitized by Google

Dieses vorausgesetzt, werden die Atome auf das Molecül M in folgender Weise einwirken:

1. In der Richtung $M M_1$ die Beschleunigung, hervor gebracht durch jene Stösse von der Seite A und innerhalb des Winkelraumes α_1 (Fig. 6), welche von der anderen Seite J keinen Gegenstoss erhalten. Besitzt das Molecül bereits eine Geschwindigkeit C in der Richtung $M M_1$ so werden die Atome mit der Geschwindigkeit $(c—C_1)$ anprallen. *)

2. In der entgegengesetzten Richtung der Widerstand der Bewegung, bewirkt durch die Masse der auf das Molecül von allen Seiten zu fallenden Atome (s. §. 6).

---

*) Wenn auf die Oberfläche einer Kugel von allen Seiten des Raumes Atome von der Masse m und der Geschwindigkeit c normal stossen, so lässt sich die Summe sämmtlicher zu einer Richtung parallelen Componenten der Stosskräfte mc auf folgende Art berechnen: Bezeichnet m' die Atomenmasse, welche in der Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit stosst, so entfällt davon auf das Flächenelement $2\rho^2\pi \sin\alpha\, d\alpha$, welches durch den Streifen RUS (Fig, 5) der Kugel vom Halbmesser ρ vorgestellt wird, in der Zeit dt die Masse:

$$2\rho^2\pi . m' \sin\alpha\, d\alpha\, dt$$

und es wird die Stosskraft sämmtlicher auf den Kugelstreifen RUS mit der Geschwindigkeit c normal auffallenden Atome gleich sein:

$$dp = 2\rho^2\pi m' c . dt . \cos\alpha \sin\alpha\, d\alpha$$

und dieses zwischen den Grenzen 0 und α integrirt gibt die Summe der Stosskräfte $(mc \cos\alpha)$ innerhalb eines Winkelraumes vom Winkelhalbmesser α und während der Zeit dt:

$$p = \rho^2\pi m' c dt . \sin^2\alpha \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (7)$$

Wenn man in dieser Gleichung $\alpha = \frac{\pi}{2}$ setzt, und die in der Zeit dt auf die halbe Oberfläche des Molecüles fallende Masse der Atome mit m_1 bezeichnet, so dass $m_1 = 2\rho^2\pi m'$ ist so ergibt sich zuletzt:

$$p_1 = \frac{m_1}{2} c\, dt \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (8)$$

Es ist demnach die Wirkung sämmlicher zu einer Richtung NM parallelen Stosskraft-Componenten der von allen Seiten des Raumes auf eine Halbkugel normal auffallenden Atome ebenso gross, als wenn nur die Hälfte derselben das Molecül mit gleicher Geschwindigkeit c parallel zu NM getroffen hätte. — In ähnlicher Weise erhält man die Summe L der lebendigen Kräfte $\frac{1}{2} m' c^2 \cos^2\alpha$:

$$L = \frac{1}{3} \rho^2\pi m' c^2 dt$$

Digitized by Google

Man erhält dann für die Beschleunigung $d\,C_1$ welche das Molecül M durch M_1 erfährt, folgenden Ausdruck:

$$2\,M\,d\,C_1 = -2\rho^2\pi\,m'\,k\,\sin^2\alpha_1\,(c-C)\,dt + 4\rho^2\pi\,m'\,C\,dt\;\ldots\,(9)$$

In ähnlicher Weise lässt sich auch die Beschleunigung berechnen, welche M auf M_1 ausübt; man hat nur in der Gleichung (9) α_1, ρ_1 und M_1 statt α, ρ und M zu setzen.

In dieser Gleichung stellt das zweite Glied der rechten Seite den Widerstand der Bewegung in jenem Mittel dar, in welchem sich die Molecüle bewegen. Ist die durch diesen Widerstand herbeigeführte Verzögerung gegenüber der eigentlichen Beschleunigung verschwindend klein, — was z. B. auch bei der Beschleunigung unserer Himmelskörper der Fall ist, — so kann das zweite Glied der Gleichung (9) auch unberücksichtiget bleiben. Es wird dieses offenbar nur dann geschehen können, wenn C gegen c verschwindend klein ist, wodurch sich die Formel (9), wenn man gleichzeitig für $\sin\alpha_1$ den gleichen Werth $\frac{\rho_1}{x}$ substituirt, (wobei x die Entfernung $M\,M_1$ bezeichnet) auf den einfacheren Ausdruck reducirt:

$$d\,C = -\frac{\rho^2\rho_1^2\pi\,m'\,kc}{M}\cdot\frac{dt}{x^2}\;\ldots\ldots\ldots\ldots\,(10)$$

Aus dieser Gleichung erfahren wir, dass die Beschleunigung der gegenseitigen Annäherung mit dem Quadrate der Entfernung (x) abnimmt.

Wenn nun an die Stelle von M_1 ein aus n weit auseinanderstehenden Molecülen bestehender Körper tritt, so wird jedes seiner Theilchen auf das einzelne Molecül M eine ähnliche Wirkung ausüben, wie sie die Gleichung (10) vorstellt.

Sind dann diese Theilchen innerhalb eines Kugelraumes gleichmässig vertheilt, so werden dieselben auf M gerade so wirken, als wären sie alle in dem Mittelpunkte der Kugel, in einer Entfernung x von M vereiniget. Es beruht dieses auf einem bekannten Satze der Mechanik, demzufolge die materiellen Theilchen einer Kugel, wenn sie einen ausserhalb liegenden materiellen Punkt mit einer dem Quadrate der Entfernung indirect proportionalen Kraft anziehen, gerade so wirken, als wäre die Masse derselben im Mittelpunkte der Kugel angesammelt.

Es ist hier auch ganz gleichgiltig, ob die Beschleunigung durch eine Anziehungskraft bewirkt wird, oder durch Stösse, welche

Digitized by Google

von aussen auf das Molecül wirken; das Rechnungsresultat, welches hier allein in Betracht gezogen wird, bleibt in beiden Fällen dasselbe.

Bezeichnet man die Masse der Kugel mit μ so ist $\mu = nM_1$ und die Grösse der Beschleunigung wird ausgedrückt werden können durch:

$$dC = -\frac{\rho^2 \rho_1^{\,2} \pi m' kc}{M M_1} \cdot \frac{\mu\, dt}{x^2} \quad \ldots\ldots\ldots, \quad (11)$$

Würde endlich auch an der Stelle des Molecüles M ein kugelförmiger Körper von der Masse μ_1 stehen, so könnte man die aus der Wirkung beider Körper entstehende Beschleunigung aus der Gleichung (11) durch Substitution von $\mu + \mu_1$ statt μ erhalten.

§. 8. **Das Newton'sche Attractions-Gesetz als specieller Fall eines allgemeinen Gesetzes.** Die soeben abgeleitete Formel (11) stellt das bekannte Newton'sche Attractionsgesetz dar, nach welchem man annimmt, das sich die Himmelskörper mit einer Kraft anziehen, welche mit der Masse derselben wächst und mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt.

Wir sehen also, dass es zur Erklärung der Erscheinungen der allgemeinen Gravitation keineswegs der Annahme einer besonderen Anziehungskraft bedarf, indem die beobachtete Annäherung der Weltkörper, und der freie Fall auf der Erde, auch als eine Folge der Einwirkung der in gleichförmiger Bewegung begriffenen kleineren Theile der Materie, auf grössere Massen betrachtet werden kann.

Wir sehen ferner, dass jenes Attractionsgesetz nur den speciellen Fall eines allgemeineren Naturgesetzes vorstellt, und dass es nur unter folgenden Bedingungen in der gewöhnlich ausgesprochenen Form seine Giltigkeit erlangt:

a) Wenn die in der Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit fallende Masse m' der beschleunigenden Atome, wie auch die Geschwindigkeit c der Letzteren sich während der Bewegung nicht ändert; denn eine Zunahme von m' oder c müsste auch eine Zunahme der Beschleunigung $\frac{dC}{dt}$ bewirken. Wir werden in der Folge Gelegenheit haben, die Richtigkeit dessen an gewissen Erscheinungen bestätiget zu sehen.

b) Wenn die beschleunigenden Atome gegenüber den Molecülen eine sehr geringe Masse besitzen, und der Radius ρ und die

Digitized by Google

Masse M bei allen Molecülen der sich nähernden Körper gleich sind. Das Letztere ist wohl in der Wirklichkeit weder bei den Himmelskörpern noch bei den Körpern auf der Erde der Fall. Nachdem aber die Beobachtung nachgewiesen habet, dass die Beschleunigung für alle Körper, mögen sie eine grössere oder geringere Dichte besitzen, gleich ist, so wäre man zu der Annahme genöthigt bei allen Molecülen das Verhältniss $\frac{\rho^2}{M}$ (der Oberfläche zu der Masse) als ein constantes vorauszusetzten. — Diese Voraussetzung würde zum mindesten nichts unmögliches oder unwahrscheinliches enthalten; denn wir haben über die eigentliche Beschaffenheit der Molecüle keine nähere Kenntniss und könnten uns dieselben ganz gut auch als kleine Bläschen vorstellen. Diese letztere Vorstellung würde uns sogar die vorausgesetzte vollkommene Elasticität derselben leichter begreiflich erscheinen lassen, als es bei einer massiven Kugel der Fall ist.

c) Wenn die Theilchen beider betrachteten Körper verhältnissmässig sehr weit auseinanderstehen, so dass der früher gezogene Schluss: „es müssen n Theilchen auch die n fache Wirkung ausüben“ gestattet werden kann.

d) Wenn der Widerstand der Bewegung gegenüber der eigentlichen Beschleunigung sehr gering ist und wenn namentlich die Geschwindigkeit C der Körper gegenüber jener der Atome c verschwindend klein bleibt.

Diese hier aufgezählten Bedingungen können bei der Bewegung der Himmelskörper, in soweit sich jetzt schon beurtheilen lässt, wirklich erfüllt werden; nur müsste man, um die allgemeine Schwere auch ohne Anziehungskraft erklären zu können, nothwendiger Weise annehmen, der weite Weltraum sei mit äusserst kleinen Atomen erfüllt, welche sich mit sehr grosser Geschwindigkeit nach allen Seiten des Raumes gleichförmig und geradlinig bewegen, und alle Körper durchdringen.

Die Geschwindigkeit dieser Atome, welche in ihrer Gesammtheit eine Art Gas bilden, müsste eine ungewöhnlich grosse sein und nach Tausenden von Meilen zählen.

Würde dieses Gas bei einer Geschwindigkeit der Atome von 40.000 geogr. Meilen nur den 10millionten Theil der Dichte der

Digitized by Google

atmosphärischen Luft besitzen, so müsste schon der $\frac{1}{10^{21}}$ (Tausend-Trilliontel-) Theil der gegen die Molecüle unserer Körper stossenden Atome hinreichen, um die Wirkungen der Schwerkraft zu erklären.

Wäre es möglich dieses Gas in ein absolut dicht schliessendes Gefäss zu füllen, so würden die Wände des Letzteren einen Druck von mehr als 20.000 Atmosphären auszuhalten haben.

Um aber, treu dem anfangs ausgesprochenen Principe, die Aufstellung neuer Hypothesen zu vermeiden, in solange es nicht möglich ist deren Berechtigung direct zu beweisen, will ich mich vor der Hand begnügen dargethan zu haben, dass durch die beschriebene einfache Bewegung der Atome, wie sie auch in jedem Gase vorkommt, unter Umständen eine Annäherung grösserer Massen bewirkt wird, eine Annäherung wie wir sie gewöhnlich einer Anziehungskraft zuzuschreiben pflegen.

Ich hoffe dann an einem späteren Orte den Nachweis liefern zu können, dass die Existenz eines solchen alle Räume durchdringenden Gases, welches man füglich mit dem Namen Weltgas bezeichnen könnte, unmittelbar aus dem hier aufgestellten Principe der allgemeinen Bewegung abgeleitet werden kann.

Digitized by Google

II.

Allgemeine moleculare Eigenschaften der Körper.

Es ist ein dem Menschen eigenthümliches Streben, bei allem was er wahrnimmt nach der Ursache zu forschen. Er will nicht allein sehen dass etwas ist, er will auch wissen warum es so ist.

Diesem löblichen Bestreben haben wir es zu danken, dass die Naturwissenschaft einen so hohen Grad von Ausbildung erlangt hat; dennoch gibt es in der Natur noch so manche Frage, welche der Mensch nicht zu beantworten vermag, und selbst manche scheinbar einfache Veränderung, die wir an den uns umgebenden Körpern fast alltäglich wahrnehmen können, ist uns noch ein Räthsel geblieben.

Wir sehen Körper ihren molecularen Zusammenhang wechseln, aus dem festen in den flüssigen und dampfförmigen Zustand übergehen; wir sehen dann umgekehrt den Dampf sich verdichten und unter Umständen zur festen Form zurückkehren, in welcher er neuerdings denselben Körper bildet aus dem er entstanden ist. Wir sehen endlich wie feste Körper sich in Flüssigkeiten auflösen, und dadurch dem Auge unsichtbar werden u. d. m.

Um sich über diese eigenthümlichen Zustandsänderungen einige Rechenschaft geben zu können, sieht man sich genöthiget dieselben als Wirkungen gewisser Kräfte zu betrachten, und nimmt an, dass die materiellen Theilchen nebst der allgemeinen Schwere noch eine zweite Anziehungskraft, (Cohäsion) besitzen, welche die Theilchen zusammenhält und eine Abstossungskraft, welche dieselben gleichzeitig auseinander zu treiben sucht.

Abgesehen davon, dass es der menschlichen Vorstellung schwer fällt sich in einem so winzig kleinen Massentheilchen drei verschiedenartige Kräfte beisammen zu denken, welche nach grösstentheils unbekannten Gesetzen wirken sollen, so ist auch die mit

Digitized by Google

Hilfe dieser Kräfte gegebene Erklärung der wahrgenommenen Veränderungen eine dunkle und unvollkommene. Sie gestattet uns in der Regel nur aus einer beobachteten Erscheinung den Schluss zu ziehen, dass dabei diese oder jene Kraft die Oberhand behalten, und so die Erscheinung hervorgebracht haben musste; damit aber ist der Wissenschaft wenig gedient, indem das Wort Kraft in diesem Sinne nur als ein Ausdruck für dasjenige zu betrachten ist, was wir nicht näher kennen.

Es ist daher begreiflich, dass das Bestreben der Naturforschung stets dahin gerichtet sein musste, alle wahrnehmbaren Veränderungen an den uns umgebenden Körpern durch möglichst wenige Kräfte zu erklären.

Ich habe in dem vorangehenden Kapitel auseinandergesetzt, wie sich aus der einfachsten und wahrscheinlichsten Bewegung gleicher Atome allein, drei verschiedene Arten anderer zusammengesetzter Bewegungen (schwingende, geradlinig verzögerte, geradlinig beschleunigte Bewegung), ohne Zuhilfenahme besonderer Kräfte erklären lassen. Nun sind es gerade diese Bewegungsformen denen wir in der Natur allenthalben begegnen, und es liegt die Vermuthung nahe, dass sich vielleicht auch noch complicirtere Bewegungserscheinungen in gleicher Weise erklären lassen, wodurch die Annahme der sogenannten Molecular-Kräfte entbehrlich würde.

In wie ferne dieses möglich ist, soll aus einer übersichtlichen Darstellung der bekanntesten molecularen Eigenschaften der Körper hervorgehen, wobei ich aber ausdrücklich bemerken muss, dass man das Folgende nur als eine Skizze jener Ideen betrachten möge, welche meiner Ansicht nach zur Lösung der genannten Aufgabe führen können.

Eine vollständige Ausarbeitung derselben konnte hier um so weniger gegeben werden, als es sich einerseits darum handelt, dem Leser zunächst ein übersichtliches Bild des gesammten Systemes zu entwickeln, und als anderseits die detaillirte Bearbeitung dieser Theorie, und die Anwendung derselben auf alle Zweige der Naturlehre kaum Sache eines Einzelnen sein kann, namentlich wenn demselben (wie es leider bei mir der Fall ist), weder Zeit noch wissenschaftliche Behelfe in ausreichendem Masse zu Gebote stehen.

§. 9. **Dreifacher Aggregats-Zustand der Körper.** Es ist bekannt, dass ein jeder Körper in drei verschiedenen Aggregations-

Digitized by Google

Formen auftreten kann, und zwar in fester, tropfbar flüssiger und in ausdehnsam flüssiger Form.

Die moleculare Beschaffenheit der Körper in diesen drei Zuständen lässt sich in folgender Weise erklären:

1. Wenn sich in einem Raume Atome gleicher Grösse befinden, so bewegen sich dieselben, wie früher (in §. 2) nachgewiesen worden ist, gleichförmig, geradlinig, nach allen Richtungen des Raumes in nahezu gleich grosser Anzahl.

Diese Atome müssen offenbar den Raum, in welchem sie sich befinden, nach allen Richtungen gleichmässig ausfüllen, und durch den Anprall auf die den Raum abgrenzenden Wände einen Druck ausüben.

Diese Atome bilden demnach in ihrer Gesammtheit jene Aggregatsform des Körpers, die wir mit dem Namen „Gas" bezeichnen.

Wird die Wand des Gefässes, in welchem dieses Gas eingeschlossen ist, dem Inneren genähert, so werden auch die Atome früher als sonst in das Innere reflectirt, und dadurch auf einen engeren Raum zusammengedrängt; wir sagen dann: das Gas wird comprimirt.

Wird aber der Raum in welchem sie sich befinden erweitert, so breiten sich auch die Atome in gleichem Masse aus, und wir sagen: das Gas dehnt sich aus (expandirt).

Diese Erklärung des gasförmigen Zustandes der Körper ist nicht mehr neu; sie ist bereits in der mechanischen Wärmetheorie als diejenige acceptirt worden, auf Grund welcher man alle bei Gasen beobachteten Molecular- und Wärmeerscheinungen erklären und der Rechnung unterziehen kann.

Aus derselben Erklärung folgt auch, dass ein aus durchaus gleichen Atomen bestehendes Gas niemals, auch nicht unter dem stärksten Drucke, seinen Zustand wesentlich ändern, und andere Eigenschaften annehmen kann.

2. Sobald sich aber in einem Raume Atome von zwei beträchtlich verschiedenen Grössen befinden, so werden zunächst die kleineren Atome die Bewegung der grösseren (die ich wieder Molecüle nennen will) verzögern, und zwar in der Weise, wie sie im §. 6 beschrieben worden ist.

Hat dann die Geschwindigkeit der Molecüle bis zu einem gewissen Grade abgenommen, so muss die in §. 7 bezeichnete

Digitized by Google

gegenseitige Annäherung derselben eintreten, bewirkt durch die Stösse jener Atome, welche gehindert sind in den zwischen je zwei Molecülen gelegenen Raum direct zu gelangen. *Dadurch werden sich alle Molecüle, indem sie gegen ein gemeinschaftliches Centrum mit beschleunigter Geschwindigkeit fortschreiten, nach und nach auf einen kleineren Raum zusammenziehen, und einen eigenen Körper bilden.*

In dem Inneren des so entstandenen Körpers werden die Molecüle ihre Bewegung fortsetzen; doch wird diese Bewegung ganz anderer Art sein als jene der Gastheilchen. Denn infolge des Zusammenrückens sämmtlicher Molecüle auf einen viel kleineren Raum *wird jedes an der Oberfläche befindliche Theilchen vorherrschend nur von der Aussenseite den Stössen der kleineren Atome* (dem Drucke des umgebenden Gases) *ausgesetzt sein*, und es ist auch leicht einzusehen, dass jedes Aufsteigen des Molecüles zur Oberfläche mit rascher Verzögerung, jedes Zurückweichen in das Innere mit rascher Beschleunigung geschehen muss.

Im Innern dieses Körpers müssen sich die verschiedenen Geschwindigkeiten der Molecüle durch vielfache Zusammenstösse allmählig ausgleichen, so dass die Bewegung im Inneren in ähnlicher Weise wie in einem stark comprimirten Gase, in zusammenhängenden Schwingungen (§. 6) stattfindet.

In diesem Aggregats-Zustande bilden die Molecüle einen tropfbar flüssigen Körper; denn die äussere Abgrenzung dieses Körpers wird stets eine Gleichgewichtsfläche (Niveaufläche) zwischen dem inneren und äusseren Drucke darstellen, und *es wird der Körper bei allseitig gleichem Drucke* (wie zum Beispiele inmitten eines Gases), *die Kugel- oder Tropfenform annehmen.*

Diese Art der Molecularbewegung ist in Fig. 3 durch Zeichnung veranschaulicht.

3. Wenn endlich die Geschwindigkeit der Flüssigkeitstheilchen aus irgend einer Ursache (Widerstand der Bewegung, Abkühlung etc.) derart abnimmt, dass die Bewegung derselben nicht mehr in zusammenhängenden, sondern in *isolirten Schwingungen* (§. 5 und 6, Fig. 1) stattfindet, welche durch die in alle Körper (also auch in Flüssigkeiten) eindringenden Gasatome hervorgebracht

werden, **so verlieren die Molecüle ihre frühere Beweglichkeit und bilden einen festen Körper.**

Die Ursache, welche den Körpern in diesem Zustande eine besondere Widerstandsfähigkeit gegen jede Art von Formveränderung verleiht, soll später ausführlich besprochen werden.

Hierin liegt in Kürze die, wie ich glaube, ziemlich einfache Erklärung der drei Aggregats-Zustände der Körper, welche sich wie man sieht auch ohne Beihilfe von Molecularkräften geben liess. *)

---

*) Eine Erklärung dieser drei Aggregations-Zustände hat in neuester Zeit auch Clausius in den früher citirten Abhandlungen über mechanische Wärmetheorie gegeben, welche ich hier des Vergleiches halber anführe Clausius sagt:

(Abhandl. XIV, 6.) „Nach diesen Betrachtungen über den gasförmigen Zustand bietet sich von selbst die Frage dar, wie sich der flüssige und feste Zustand vom gasförmigen unterscheiden. Obwohl eine in allen Einzelnheiten genügende Definition dieser Zustände eine viel vollständigere Kenntniss des Zustandes der einzelnen Molecüle erfordern würde, als wir jetzt besitzen, so glaube ich doch, dass sich einige Hauptunterschiede mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit angeben lassen.

Eine Bewegung der Molecüle findet in allen drei Zuständen statt.

Im festen Zustande ist die Bewegung der Art, dass sich die Molecüle um gewisse Gleichgewichtslagen bewegen, ohne diese, so lange nicht fremde Kräfte auf sie einwirken, ganz zu verlassen. Die Bewegung lässt sich also bei festen Körpern als eine vibrirende bezeichnen. Indess kann sie doch noch von sehr complicirter Art sein. Erstens können die Bestandtheile eines Molecüles unter sich, und zweitens die ganzen Molecüle als solche vibriren, und die letzten Vibrationen können wieder in Hin- und Herbewegungen des Schwerpunktes und in Drehungsschwingungen um den Schwerpunkt bestehen, In solchen Fällen wo äussere Kräfte auf den Körper wirken, z. B. bei Erschütterungen, können die Molecüle auch bleibend in andere Lagen kommen."

„Im flüssigen Zustande haben die Molecüle keine bestimmte Gleichgewichtslage mehr. Sie können sich um ihren Schwerpunkt ganz herumdrehen und auch der Schwerpunkt kann sich ganz aus seiner Lage fortbewegen. Die auseinander treibende Wirkung der Bewegung ist aber im Verhältniss zu der gegenseitigen Anziehung der Molecüle nicht stark genug, um die Molecüle ganz von einander zu trennen. Es haftet zwar nicht mehr ein Molecül an bestimmten Nachbarmolecülen, aber es verlässt diese doch nicht von selbst, sondern nur unter Mitwirkung der Kräfte, welche es von anderen Molecülen erleidet, zu denen es dann in dieselbe Lage kommt, wie zu seinen bisherigen Nachbarmolecülen. Es findet also in der Flüssigkeit eine schwingende, wälzende und fortschreitende Bewegung der Molecüle statt, aber so, dass die Mo-

Digitized by Google

Wenn diese Erklärungsweise auch die richtige ist, so muss sie uns von selbst auf jene Erscheinungen führen, welche unter gewissen Umständen an den Körpern wahrgenommen werden können, mit anderen Worten: sie muss uns die molecularen Eigenschaften der Körper in jedem Aggregats-Zustande erkennen lassen.

§. 11. **Eigenschaften der Gase.** Die Theorie der Molecularbewegung in Gasen und Dämpfen ist in der neuesten Zeit von verschiedenen Physikern, namentlich von Clausius, Krönig, Maxwell, Joule, Stefan, Loschmidt u. s. w. in so ausführlicher Weise behandelt worden, dass eigentlich schon der einfache Hinweis auf diese wissenschaftlichen Arbeiten genügen würde. Es haben aber sämmtliche genannten Autoren auch noch das Vorhandensein der Molecularkräfte vorausgesetzt.

Ich will daher, indem ich der Vollständigkeit wegen die wichtigsten molecularen Eigenschaften der Gase aufzähle, hier darthun, dass man diese Eigenschaften auch ohne Annahme besonderer Kräfte erklären könne.

(Mariotte'sches Gesetz.) Ein Gas, welches sich in einem dicht geschlossenen Gefässe befindet, wird auf die Wände des Letzteren einen Druck ausüben. Dieser Druck entsteht, wie schon früher erklärt wurde, durch den Anstoss der geradlinig fortziehenden Molecüle, welche in rascher Aufeineinanderfolge von allen Seiten gegen die Gefäss-

---

lecüle dadurch nicht auseinander getrieben werden, sondern sich ohne äusseren Druck innerhalb eines gewissen Volumens halten".

„Im gasförmigen Zustande endlich sind die Molecüle durch die Bewegung ganz aus den Sphären ihrer gegenseitigen Anziehung herausgekommen, und fliegen nun nach den gewöhnlichen Bewegungsgesetzen geradlinig fort. Wenn zwei solcher Molecüle in ihrer Bewegung zusammenstossen, so fliegen sie im Allgemeinen mit derselben Heftigkeit wieder auseinander, mit der sie zusammengeflogen sind, was um so leichter geschehen kann, als ein Molecül von einem einzelnen anderen Molecüle mit viel geringerer Kraft angezogen wird, als von der ganzen Menge von Molecülen, welche es im flüssigen oder festen Zustand in seiner Nähe hat."

Wenn man diese von Clausius ausgesprochenen Ansichten mit der oben gegebenen Erklärungsweise vergleicht, so stellt sich eine Uebereinstimmung in der Erklärung des festen und gasförmigen Zustandes heraus, während die Erklärungen des flüssigen Zustandes beiderseits von einander bedeutend abweichen. Man sieht auch wie schwer es wird, mit Hilfe der Molecularkräfte (Anziehung und Abstossung) eine halbwegs plausible Vorstellung der Molecularbewegung in Flüssigkeiten zu erlangen.

Digitized by Google

wände anprallen, und von diesen zurückgeworfen werden.

Mit Hilfe dieser sehr einfachen Erklärung lässt sich auch die Intensität des Gasdruckes leicht berechnen. Bezeichnet nemlich:

m die Masse eines Molecüles,

c die Geschwindigkeit, und

n die Anzahl der Molecüle in einem Volumen v,

so wurde der Druck p, welchen das Gas auf eine Flächeneinheit der Wandung ausübt, von Clausius durch die Formel ausgedrückt:

$$p = \frac{nmc^2}{3v} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Wenn man dasselbe Gas bei gleicher Temperatur auf das Volumen v_1 zusammenpresst, so ist hiezu ein Druck p_1 nöthig, welcher sich aus der ähnlichen Formel ergibt:

$$p_1 = \frac{mnc^2}{3v_1}$$

Daraus folgt dann die Proportion:

$$p : p_1 = v_1 : v$$

Diese Proportion stellt das bekannte Mariotte'sche Gesetz dar.

Nach Clausius gilt dieses Gesetz für ein Gas nur dann, wenn das Letztere in Bezug auf seinen Molecularzustand folgenden Bedingungen genügt:

1. „Der Raum, welchen die Molecüle des Gases wirklich ausfüllen, muss gegen den ganzen Raum, welchen das Gas einnimmt, verschwindend klein sein."

2. „Die Zeit eines Stosses, d. h. die Zeit, welche ein Molecül, indem es gegen ein anderes Molecül oder eine feste Wand stösst, bedarf, um seine Bewegung in der Weise zu ändern, wie es durch den Stoss geschieht, muss gegen die Zeit, welche zwischen zwei Stössen vergeht, verschwindend klein sein."

3. „Der Einfluss der Molecularkräfte muss verschwindend klein sein."

In der ersten Forderung liegt die Bedingung, dass Zusammenstösse zwischen Molecülen im Gase nur äusserst selten stattfinden dürfen, was eben nur dann der Fall sein wird, wenn die Molecüle sehr klein sind und weit auseinanderstehen. Die in §. 4 abgeleitete Formel (4) für die Zeit t, binnen welcher innerhalb eines

Digitized by Google

Raumes r^3 zwei Zusammenstösse eines Molecüles mit einem zweiten stattfinden:

$$t = \frac{\rho}{32c} \cdot \left(\frac{r}{\rho}\right)^4$$

(in welcher ρ den Durchmesser, r den mittleren Abstand und c die Geschwindigkeit der Molecüle bezeichnet,) sagt uns, dass diese Zeit bei einem und demselben Gase mit dem Quadrate der Dichte $\left(\frac{\rho}{r}\right)^3$ abnimmt.

Nachdem aber r^3 den Raum bezeichnet, in welchem sich durchschnittlich ein Molecül befindet, so werden in einem Gase, welches n Molecüle enthält in der Zeit t auch n Zusammenstösse stattfinden.

Es würden dann z. B. in einem Gase, dessen Molecüle
einen Durchmesser $\rho = 0.0001$ Millimeter
eine mittl. Entfernung $r = 0{\cdot}01$ „
eine Geschwindigkeit $c = 480$ Meter $= 480000^{mm}$
besässen, in $t = 6{\cdot}5$ Secunden n Zusammenstösse, oder in einer Secunde $0{\cdot}154\ n$ Zusammenstösse stattfinden; würde dieses Gas auf den 10. Theil seines Volumens zusammengedrückt, so müsste die Zahl der Zusammenstösse der Molecüle schon auf $15{\cdot}4\ n$, und bei einer 100fachen Compression auf $1540\ n$ steigen.

Auch die zweite Forderung kann nur bei Gasen von sehr geringer Dichte als erfüllt betrachtet werden, insolange nämlich die Zeit, welche zwischen zwei Zusammenstössen eines und desselben Molecüles mit einem zweiten verfliesst, noch beträchtlich gross ist.

Clausius hatte nachgewiesen *), dass die mittlere Weglänge eines Molecüles (bis zum Zusammenstosse mit einem zweiten) sich zum Radius der Wirkungssphären verhält, wie der von dem Gase im Ganzen eingenommene Raum zu dem Theile des Raumes, welcher von den Wirkungssphären der Molecüle wirklich ausgefüllt wird.

Wenn man dem Molecüle keine eigentliche Abstossungskraft zumuthet, so ist der Radius der Wirkungssphäre der Letzteren dem

*) Siehe Abhandlung XV. Seite 272, der schon früher citirten „Abhandlungen über mechanische Wärmetheorie" von R. Clausius. Eine elementare Ableitung dieses Satzes in allgemeiner Form, für Molecüle verschiedener Grösse habe ich in §, 12 d. A. gegeben.

Digitized by Google

Durchmesser des Molecüles gleichzusetzen und, man findet dann die Zeit T zwischen zwei Zusammenstössen eines Molecüles mit einem anderen:

$$T = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\rho}{c} \cdot \left(\frac{r}{\rho}\right)^3$$

Es würde daher in dem oben als Beispiel aufgestellten Gase,

$$T = 0{\cdot}000066 \text{ Secunden}$$

und der mittlere Weg, den das Molecül während dieser Zeit beschreibt,

$$c\,T = 31{\cdot}7 \text{ Millim.}$$

betragen. Diese Zahlen mögen nur zur Beurtheilung dienen wie sehr gering diejenige Zeit sein muss, welche das Molecül zur Aenderung seiner Bewegung während des Zusammenstosses verwenden darf, wenn diese Zeit gegenüber jenem Werthe von T verschwindend klein sein soll.

Was endlich die dritte Forderung anbelangt, so kann dieselbe vollständig dadurch erfüllt werden, dass man überhaupt das Vorhandensein der Molecularkräfte nicht in Betracht zieht.

(Abweichung vom Mariotte'schen Gesetze. Versuche Regnault's). Regnault war der erste, der durch sorgfältig ausgeführte Versuche nachgewiesen hat, dass kein Gas dem Mariotte'schen Gesetze genau folgt. Es zeigten sich alle Gase bei höherem Drucke in grösserem Masse zusammendrückbar, als es dem genannten Gesetze zufolge der Fall sein sollte; nur der Wasserstoff bildete hievon eine Ausnahme, und zeigte das entgegengesetzte Verhalten.

Diese Erscheinung lässt sich mit Hilfe der hier vorgetragenen Moleculartheorie recht gut erklären.

Durch die stärkere Verdichtung eines Gases wird auch wie vorhin erklärt worden ist, die Zahl der Zusammenstösse in bedeutendem Masse vermehrt. Wenn man sich aber die Molecüle als elastische Kugeln denkt, so muss man auch zugeben, dass bei jedem Zusammenstosse zweier von entgegengesetzten Seiten einander begegnenden Molecüle eine gewisse Zeit vergeht, ehe beide Kugeln Richtung und Geschwindigkeit ändern. Bei dem centralen Zusammenstosse gleicher Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit, wird einen Augenblick hindurch sogar völliger Stillstand eintreten müssen, worauf sich erst die Bewegung jeder Kugel, — allerdings mit rascher Beschleunigung, — in die

Digitized by Google

entgegengesetzte verwandelt, so dass nach einer Zeit τ beide Kugeln mit derselben Geschwindigkeit in entgegengesetzer Richtung wieder davon ziehen.

Daher kommt es, dass jedes Molecül eine viel längere Zeit braucht, um einen bestimmten Weg zu durchlaufen, als es bei ungehinderter, gleichförmiger Bewegung desselben der Fall gewesen wäre; und wenn wir die mittlere Weglänge zwischen zwei Zusammenstössen mit l, und die Zeit welche zu dem ungehinderten Durchlaufen derselben nöthig ist mit t bezeichnen, so wird das Molecül den Weg l, mit Rücksicht auf die Zusammenstösse, erst nach der Zeit $t+\tau$ zurücklegen.

Wenn also ein Molecül von einer Wand des Gefässes zur andern fliegt, und dazu die Zeit γt braucht, so wird dasselbe, bei γ Zusammenstössen denselben Weg erst in der Zeit $\gamma(t+\tau)$ zurücklegen können; ebenso leicht ist einzusehen, dass in dem letzteren Falle eine Flächeneinheit der Wandung nicht wie früher von z. B. β Molecülen, sondern von $\beta \cdot \frac{t}{t+\tau}$ Molecülen in der Zeiteinheit getroffen werden wird.

Es werden also die Molecüle desto seltener an die Gefässwände anprallen, je häufiger sie im Inneren Zusammenstössen ausgesetzt sind, wodurch auch eine Verminderung der Spannkraft des Gases eintritt.

Die früher angeführte Formel (12) für die Spannkraft eines Gases muss mit Rücksicht auf diesen Umstand in folgender Weise abgeändert werden:

$$p_1 = \frac{t}{t+\tau} \cdot \frac{n m c^2}{3 v}$$

oder wenn man für t den schon vorher erwähnten Werth:

$$t = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\rho}{c}\left(\frac{r}{\rho}\right)^3$$

substituirt, und dabei bemerkt, dass $n r^3 = v$ ist, (§, 4) so erhält man:

$$p_1 = \frac{n m c^2}{3v + 4\pi n c \tau \rho^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Auf diese Art lässt sich dann das Mariotte'sche Gesetz, wenn man auch die Spannkraftsabnahme durch Zusammenstösse berücksichtigen will, in folgender Form darstellen:

$$p = p_0 \cdot \frac{v_0 + z}{v + z} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

Digitized by Google

wobei das Product: $\frac{4}{3}\pi n c \tau \rho^2$, welches nur Factoren enthält die sich bei einem einfachen (aus gleichen Molecülen bestehenden) Gase während des Zusammenpressens bei constanter Temperatur nicht ändern, der Kürze halber mit z bezeichnet ist.

Man sieht aus der Gleichung (13) dass *die Zusammendrückbarkeit verschiedener Gase mit dem Quadrate des Radius ihrer Molecüle zunimmt*, und es müssen sich daher unter sonst gleichen Umständen gerade bei Gasen von grösserer specifischer Dichte auch stärkere Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze (bei erhöhtem Drucke) zeigen, was in der That auch constatirt worden ist. Der *Wasserstoff*, als das leichteste uns bekannte Gas, wird unter solchen Umständen *die geringste Abweichung* aufweisen müssen.

Es muss sich aber bei der Comprimirung der Gase noch *eine zweite Art von Abweichung* von der Mariotte'schen Regel zeigen. Wir besitzen nämlich kein absolut dicht schliessendes Gefäss, indem auch feste Körper aus Molecülen bestehen, welche durch nicht unbedeutende Zwischenräume von einander getrennt sind. Es wird daher jedes Gas desto mehr *in die Poren des Körpers eindringen* können, je kleiner die Gasmolecüle sind, und mit je grösserer Geschwindigkeit sie sich fortbewegen. Dieses Eindringen wird daher unter sonst gleichen Verhältnissen proportional sein dem Drucke, gleichzeitig aber auch *mit der Dichte des Gases abnehmen*.

Es wird das Gas *dem Drucke anfänglich einen geringeren Widerstand entgegensetzen*, und somit *leichter verdichtbar* scheinen, als später wenn die Dichte bereits einen hohen Grad erreicht hat.

Dieser Einfluss muss sich demnach *in entgegengesetztem Sinne* geltend machen, als der früher genannte, und er wird auch beim *Wasserstoffe*, als dem specifisch leichtesten Gase, am stärksten hervortreten.

Dass übrigens auch andere Gase ein ähnliches Verhalten zeigen, obwohl dasselbe in geringerem Masse hervortritt, und von der durch Molecularstösse enstandenen Spannkraftsabnahme verdeckt wird, soll an folgendem Beispiele gezeigt werden:

Die Versuche *Regnault's* ergaben, dass man zur Verdich-

Digitized by Google

tung des Stickstoffes auf $\frac{1}{5}$ des anfänglichen Volumens nur den 4·987fachen Druck benöthige. *)

Berechnet man mit Hilfe der Formel (14) aus diesen Angaben zunächst den Werth von s, und dann die Grösse des Druckes für noch höhere Grade der Verdichtung; so erhält man, wenn das anfängliche Volum (für $p_0 = 1$) $v_0 = 60$ angenommen wird, $s = 0·04$; und hieraus zur weiteren Rechnung die Formel:

$$p = \frac{60·04}{v + 0·04}.$$

Stellt man dann das Rechnungsresultat dem Resultate der Beobachtung gegenüber, so ergibt sich:

Verhältniss $\frac{v_0}{v}$:	$\frac{p}{p_0}$ beobachtet:	$\frac{p}{p_0}$ berechnet:	Unterschied:
$\frac{60}{12} = 5$	4·987	4·987	0·000
$\frac{60}{6} = 10$	9·944	9·942	0·002
$\frac{60}{4} = 15$	14·876	14·861	0·015
$\frac{60}{3} = 20$	19·789	19·756	0·033

Der sich aus diesen Zahlen herausstellende Unterschied deutet darauf hin, dass sich auch beim Stickstoff nebst der Spannkraftsabnahme noch ein zweiter Einfluss geltend macht, welcher ähnlich wie beim Wasserstoff eine Spannkraftszunahme bewirkt. Dabei ist zu bemerken, dass hier der Werth von s eher etwas zu klein ist, indem möglicher Weise in Folge des letzteren Einflusses schon bei der fünffachen Compression, die 3. Decimale in 4·987 um eine Einheit zu gross ausgefallen sein konnte.

(Diffusion der Gase.) Wir haben bisher in einem abgeschlossenen Raume nur Molecüle gleicher Grösse vorausgesetzt; dieser Fall kommt aber in der Natur, wenigstens in den uns zugänglichen Sphären, in der Regel nicht vor.

Befinden sich nämlich in zwei nur durch eine Scheidewand getrennten Räumen zwei verschiedene Gase A und B, so werden

*) Diese Zahlen sind der deutschen Ausgabe von Armengaud und Barrault's: „Taschen-Ingenieur" von A. W. Hertel, zweite Auflage, entnommen.

Digitized by Google

nicht alle Gasmolecüle von dieser Wand abprallen, und in denselben Raum zurückgeworfen werden. Es werden auch einzelne Molecüle in das Innere des Wandkörpers, welcher gleichfalls aus getrennten, und in nicht unbedeutenden Entfernungen auseinanderstehenden Molecülen besteht, eindringen, und von hier aus können sie durch fortgesetzte Reflexion auch in den benachbarten Raum gelangen.

Dadurch wird sich allmählich ein Theil des Gases *A* in den Raum des Gases *B* hinüberziehen und sich mit Letzterem mischen; das Gleiche gilt dann auch vom Gase *B*. Diese unter dem Namen Diffusion bekannte Erscheinung wird sich in desto stärkerem Masse einstellen, je poröser die Scheidewand ist, welche die Gase trennt, d. h. in je grösseren Entfernungen die Molecüle dieser festen Wand auseinanderstehen, und je geringere specifische Dichte die Gase besitzen.

Nicht minder wird auch die Geschwindigkeit der Gasmolecüle, und die Spannung des Gases in beiden Räumen dabei von Einfluss sein.

Hieraus lässt sich auch die weitere Folgerung ziehen, dass kein Gas in einem Raume vollständig abgeschlossen erhalten werden kann. (Das Nähere siehe in §. 12.)

Bei dieser Gelegenheit sei es gestattet, den Vorgang bei der Vermischung zweier Gase näher zu beschreiben.

Das Eindringen eines Gases in ein anderes geschieht selbst dann, wenn keine trennende Scheidewand vorhanden ist, nicht so rasch als man es bei der bedeutend grossen Geschwindigkeit der Gasmolecüle (400 bis 1850 Meter in der Secunde) erwarten könnte; denn es kann jedes Molecül nur solange ungehindert fortziehen, bis es mit einem Molecüle des zweiten Gases zusammenstösst. Von diesem aber wird es in denselben Raum wieder zurückgeworfen, aus welchem es herkam, so dass das Molecül anstatt einen geraden Weg im Raume zu durchlaufen, eine vielfach verschlungene gebrochene Linie beschreibt. (Fig. 2. Diese Art der Bewegung wurde schon in §. 6 unter dem Namen „zusammenhängende Schwingungen“ beschrieben.)

Nur der Umstand, dass die Materie im Raume nicht gleichförmig vertheilt ist (§. 1) macht es dann erklärlich, dass die Gasmolecüle nicht immer innerhalb desselben Kugelraumes hin

Digitized by Google

und her schwingen, sondern nach und nach auch in andere Räume gelangen.

Das Gas breitet sich demnach beim Einströmen in ein anderes Gas viel langsamer aus, als dieses beim Einströmen in einen absolut leeren Raum der Fall wäre.

Daher kommt es auch, dass sich z. B. Rauchwolken nur langsam in der Luft ausbreiten, dass sich stark riechende Gase erst nach einer geraumen Zeit von einem Ende des Zimmers zu dem anderen fortpflanzen, während dazu bei ungehinderter Bewegung nur einige hundertel Secunden nöthig wären, und dass z. B. Kohlensäure in offenen Gefässen längere Zeit hindurch verweilen kann. *)

(Spannkraft eines Gasgemenges. Condensation.) Sind in einem geschlossenen Raume Molecüle zweier Gase, also Molecüle verschiedener Grösse vorhanden, so kommt es wesentlich darauf an, ob dieses Gasgemenge eine so geringe Dichte hat, dass Zusammenstösse von Molecülen verhältnissmässig sehr selten vorkommen, oder nicht. Im ersteren Falle werden sich die Molecüle des einen Gases offenbar zwischen jenen des anderen frei und nahezu unabhängig bewegen können.

Bezeichnen wir die Anzahl, Masse und Geschwindigkeit der (kleineren) Molecüle des specifisch leichteren Gases A mit n, m, und c, jene der (grösseren) Molecüle des Gases B mit N. M und C, so wird der Druck dieses Gemenges gegen eine Flächeneinheit der Wand (ähnlich wie in Formel 13) ausgedrückt werden können durch:

$$p = \frac{nmc^2 + NMC^2}{3v} = \frac{nmc^2}{3v} + \frac{NMC^2}{3v}$$

woraus zu ersehen ist, dass die Spannkraft des Gemenges, der Summe der Spannkräfte der einzelnen Gase gleich ist. (Dalton'sches Gesetz.)

Dieses durch Versuche bestätigte Naturgesetz kann offenbar nur so lange gelten, als die früher erwähnte Voraussetzung stattfindet. Sobald aber in Folge einer stärkeren Verdichtung des Gasgemenges auch die Zahl der Zusammenstösse wächst, so können

*) Auf dieses Verhalten der ausströmenden Gase hatte schon Clausius an demselben Orte (Abhandl. XV), in Folge einer Bemerkung Buys-Ballots aufmerksam gemacht, und die Ursache desselben ausführlich besprochen.

Digitized by Google

die Geschwindigkeiten C und c der Gasmolecüle unmöglich denselben Werth unverändert beibehalten, und es wird die Geschwindigkeit C der grösseren Molecüle stets vermindert (s. §. 6) und jene der kleineren Molecüle des Gases A vergrössert werden. Dadurch wird der Druck des letzteren Gases, nämlich $\frac{nmc^2}{3v}$, in grösserem Masse zunehmen, als dieses das Mariotte'sche Gesetz verlangt, weil der Zähler nmc^2 jenes Bruches mit der Geschwindigkeit c zunimmt; gleichzeitig aber wird auch der Druck $\frac{NMC^2}{3v}$ des Gases B allmählig abnehmen, bis er schliesslich nahezu Null geworden ist.

Das Product nmc^2 stellt aber die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Molecüle m dar, welche (nach Clausius) uns als Mass der Temperatur dient, und wir ersehen daraus, dass bei einer solchen Compression eines Gasgemenges die Temperatur des leichteren Gases zunimmt: wir sagen es wird Wärme frei.

Hat aber die Verdichtung jenen Grad erreicht, in welchem C gegenüber c verschwindend klein wird, so muss in Folge der in §. 7 beschriebenen Einwirkung der kleineren Molecüle auf die grösseren eine allgemeine Annäherung der Letzteren eintreten, so dass sich die Molecüle des Gases B auf einen kleineren Raum zusammenziehen, in diesem ihre Bewegung fortsetzen, und auf diese Art einen flüssigen Körper (§. 9) bilden. Das Gas B wurde somit zu einer Flüssigkeit condensirt.

Nachdem diese Art der Erklärung der Verdichtung gasförmiger Körper, ohne Zuhilfenahme einer Anziehungskraft, einen wesentlichen Stützpunkt der hier vorgetragenen Moleculartheorie bildet, so sei es gestattet, den Vorgang bei der Bildung tropfbarer Flüssigkeiten noch etwas ausführlicher zu erläutern.

Wir haben kurz zuvor bei Besprechung der Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze gesehen, dass die Spannkraft eines Gases abnimmt, wenn die Zahl der Zusammenstösse der Molecüle wächst.

Denken wir uns demnach in einem Gase A auch noch die (grösseren) Molecüle eines specifisch dichteren Gases B in ruhendem Zustande; nachdem materielle Theilchen im Raume im allgemeinen ungleich vertheilt sind (§. 1), so werden auch in dem be-

Digitized by Google

trachteten Gasgemenge Stellen vorkommen, an welchen die Molecüle des Gases *B* dichter stehen, als an anderen Stellen. An solchen dichter besetzten Orten werden die Molecüle *m* des Gases *A* weit mehr Zusammenstösse zu erleiden haben, als anderwärts wo die Molecüle *M* in geringerer Zahl vorhanden sind. Dadurch wird aber die Spannkraft des Gases *A* innerhalb der dichteren Moleculargruppe schwächer sein, als ausserhalb, und es muss der stärkere äussere Druck des Gases ein Zusammendrängen der Molecüle *B* in der genannten Gruppe bewirken.

Weil ferner mit der grösseren Annäherung der Molecüle *M* die Spannkraft des dazwischen befindlichen Gases *A* fortwährend abnimmt, so wird auch die beschriebene Annäherung so lange stattfinden, bis die Molecüle *M* innerhalb des neu gebildeten Körpers eine so grosse Geschwindigkeit erlangt haben, dass sie dem äusseren Drucke das Gleichgewicht halten können.

Es ist selbstverständlich, dass in dem Gasraume noch einzelne Molecüle des Gases *B* als Dampf verbleiben können; davon soll später (§. 11) ausführlicher die Rede sein.

(Vibration der Gasmolecüle.) Obschon ich die Absicht habe die übrigen bei Gasen vorkommenden Erscheinungen, welche durch Einwirkung von Licht, Wärme etc. entstehen, erst bei den einschlägigen Capiteln zu besprechen, so möchte ich doch hier schon eines Umstandes erwähnen, auf den Clausius in seinen Abhandlungen über Wärme aufmerksam gemacht hat.

Clausius wies mit Hilfe mathematischer Betrachtungen nach, „dass die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung zu gering ist, um allein die ganze in dem Gase vorhandene Wärme darzustellen, so dass man schon dadurch, ohne auf die sonstigen Wahrscheinlichkeitsgründe einzugehen, genöthigt ist, (nebst der fortschreitenden Bewegung) noch eine oder mehrere andere Bewegungungen anzunehmen.“ *)

---

*) Abhandl. XIV. Seite 258. — Für diejenigen einfachen Gase, welche in Bezug auf ihr Volumen keine Unregelmässigkeiten zeigen (abgesehen von solchen Abweichungen welche in dem unvollkommenen Gaszustande ihren Grund haben) und für die zusammengesetzten, welche bei der Zusammensetzung keine Volumenverminderung erlitten haben, ist das Verhältniss der lebendigen Kraft der fortschreitenden Bewegung *K*, zur ganzen lebendigen Kraft *H*,

$$\frac{K}{H} = 0{\cdot}615$$

Aus diesem Umstande folgert Clausius, dass innerhalb der einzelnen in fortschreitender Bewegung begriffenen Massen, auch eine Vibration der Molecüle (oder der Bestandtheile, aus welchen das Molecül besteht) stattfinden müsse.

Wenn wir uns auf das in den §§. 5 und 6 auseinandergesetzte erinnern, so werden wir finden, dass eine solche schwingende Bewegung der Gasmolecüle in der That auch überall dort eintreten muss, wo in einem Gase auch noch Atome eines anderen, specifisch leichteren Gases vorkommen.

Nachdem sich aber die oben bezeichnete Eigenthümlichkeit bei allen Gasen, den Wasserstoff nicht ausgenommen, gezeigt hat, so würde, man um dieselbe erklären zu können, zu der Annahme gedrängt werden, es müsse sich im Raume nebst den bekannten irdischen Gasen noch ein anderes specifisch weit leichteres Gas vorfinden, dessen Atome von solcher Kleinheit sind, und eine so grosse Geschwindigkeit besitzen, dass sie auch feste Körper leicht durchdringen können; daher man dieses Gas weder in einem Gefässe eingeschlossen erhalten, noch auch den Druck desselben gegen die Gefässwände wahrnehmen kann.

Es führt uns also dieser Umstand abermals auf eine Idee, welche schon im §. 8 ausgesprochen worden ist. Auch dort sahen wir uns genöthiget zur Erklärung der allgemeinen Schwere das Vorhandensein eines Gases anzunehmen, welches mit dem Namen Weltgas bezeichnet worden ist, und dessen charakteristische Eigenschaften mit den hier oben ausgesprochenen dem Wesen nach übereinstimmen.

Wir werden im Verlaufe dieser Abhandlung noch einigemale Gelegenheit haben die Existenz dieses Weltgases ausser Zweifel stellen zu können.

§. 11. **Eigenschaften tropfbar flüssiger Körper.** Das Verhalten der Körper in tropfbar flüssigem Zustande bot der Erklärung bisher viel grössere Schwierigkeiten dar, als jenes der Gase, und das namentlich aus dem Grunde, weil man keine klare Vorstellung von der in Flüssigkeiten stattfindenden Molecularbewegung hatte. — Wenn man auch annahm, dass jedes Molecül eine zweifache Wirkungssphäre habe: eine Sphäre der Anziehungskraft und eine kleinere Sphäre der Abstossungskraft; so konnte man damit doch nur ein-

Digitized by Google

zelne Erscheinungen erklären, während andere, wie z. B. die leichte Beweglichkeit und gleichzeitig ungemein grosse Widerstandsfähigkeit (bei allseitigem Drucke), die Verdunstung der Flüssigkeiten, der Uebergang in den festen Zustand u. s. w. so gut wie unerklärt geblieben sind.

Wenn wir aber den in §. 9 beschriebenen Bewegungszustand in Flüssigkeiten der Erklärung zu Grunde legen, so ergeben sich hieraus diese Eigenschaften gleichsam von selbst, ohne dass man es erst nöthig hat, die Erklärung der Erscheinung anzupassen.

(Leichte Verschiebbarkeit der Flüssigkeitstheilchen.) Die Molecüle einer tropfbaren Flüssigkeit sind in fortschreitender Bewegung begriffen, doch so, dass die senkrecht zur Oberfläche gerichtete (Normal-) Componente der Geschwindigkeit mit der Annäherung an die Oberfläche rasch abnimmt. Die Bewegung in dieser Richtung könnte mit jener einer abgeschossenen Kugel verglichen werden, welche in Sand eindringt, und dadurch allmählig an Geschwindigkeit verliert.

An der Oberfläche selbst bewegen sich die Molecüle nur in horizontaler (eigentlich tangentialer) Richtung, und zwar so lange bis sie von den äusseren Gastheilchen wieder in das Innere des Flüssigkeitskörpers zurückgedrängt werden (s. Fig. 3). Sobald man also die Oberfläche einer Flüssigkeit mit einem festen Körper berührt, so prallen die Molecüle an dem Letzteren ab, und suchen auf diese Art, aus ihrer Lage verdrängt, von selbst auszuweichen; vorausgesetzt, dass nicht die ganze Oberfläche gleichzeitig gedrückt wird, dass also auf irgend einer Seite noch Raum zum Ausweichen übrig bleibt.

Die Ursache der grossen Widerstandsfähigkeit der Flüssigkeiten gegen allseitigen Druck, kann erst später (§. 12) erörtert werden.

(Auflösung fester Körper in Flüssigkeiten.) Diese Erklärungsart der Molecularbewegung in Flüssigkeiten führt uns von selbst zu der Bemerkung, dass durch die Berührung der Flüssigkeitstheilchen mit einem festen Körper sich an diesem gewisse Veränderungen zeigen müssen. Der feste Körper besteht ja auch aus einzelnen Molecülen, welche um ihre Ruhelage schwingen; ist daher die lebendige Kraft $\left(\frac{1}{2} M C^2\right)$, mit welcher jedes Flüssigkeitsmolecül einem Molecüle M_1 des festen Körpers

Digitized by Google

begegnet hinreichend gross um auch das Letztere in fortschreitende Bewegung zu versetzen, so werden die Molecüle M_1 ihre Ruhelage verlassen, und können dann entweder in die Flüssigkeit, oder in den umgebenden Gasraum fortziehen.

Der erste Fall wird dann eintreten, wenn M_1 nahezu der Masse eines Flüssigkeitsmolecüles M gleich ist; die Molecüle des festen Körpers, welche in die Flüssigkeit gerathen, werden sich in dieser fortbewegen und in Gemeinschaft mit den Molecülen M einen flüssigen Körper bilden. Man pflegt dann zu sagen: der Körper hat sich in der Flüssigkeit aufgelöst

Der zweite Fall kann eintreten, wenn die Masse M_1 der Molecüle des festen Körpers bedeutend kleiner ist als jene der Flüssigkeitsmolecüle M, und wenn letztere überdiess eine sehr grosse Geschwindigkeit besitzen. Die sich ablösenden Molecüle des festen Körpers werden sich dann vermöge der ihnen durch Anstoss verliehenen bedeutenden Geschwindigkeit ähnlich wie Gasmolecüle im Raume fortbewegen, und sich mit dem übrigen vorhandenen Gase vermengen. Der feste Körper hat sich dadurch in ein Gas aufgelöst.

Beide Arten der Auflösung können wir häufig genug in der uns umgebenden Natur beobachten. Der erste Fall ist der gewöhnlichere, und er ist es auch den man in der Regel meint, wenn man von einer Auflösung spricht. Der zweite Fall kommt bei glühend flüssigen Metallen, und bei gewissen starken Säuren (concentrirter Schwefelsäure, Salpetersäure u. s. w.) vor, wenn man diese mit organischen Substanzen berührt. Es tritt in Folge der beschriebenen Einwirkung eine Zerstörung des organischen Körpers ein, und zwar in der Art, dass die Stoffe von geringerem specifischem Gewichte, (mit kleineren Molecülen,) nämlich Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, zunächst in Gasform entweichen, während der Kohlenstoff dieser Zerstörung am längsten widersteht.

(Kältemischungen.) Aus dieser Erklärung folgt ferner, dass bei jeder Auflösung ein Theil der lebendigen Kraft der Flüssigkeitsmolecüle $\left(\frac{1}{2} M C^2\right)$ an die Molecüle des festen Körpers abgegeben werden muss, um Letztere in fortschreitende Bewegung zu versetzen. Dadurch wird auch die Geschwindigkeit der Flüs-

Digitized by Google

sigkeitsmolecüle um etwas vermindert, und es müssen sich bei der Auflösung jene Erscheinungen zeigen, die bei Geschwindigkeitsabnahmen der fortschreitenden Bewegung überhaupt einzutreten pflegen.

Nun müssen wir theils aus Analogie mit dem Verhalten der Gase, theils daraus, dass der Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand nur durch eine Abnahme der Moleculargeschwindigkeit geschehen kann, schliessen, dass sich eine Geschwindigkeitsabnahme der fortschreitenden Bewegung durch eine Temperatur-Erniedrigung äussert; es kann sich demnach bei der Auflösung auch eine Temperaturabnahme einstellen.

Auch diese aus der Theorie selbst geschöpfte Erwartung wird durch die Beobachtung bestätiget. Die Temperaturabnahme ist bei Lösungen gewisser Salze in Säuren eine so bedeutende, dass man dieselbe sogar zur künstlichen Erzeugung grösserer Kältegrade zu verwenden pflegt; so z. B. sinkt die Temperatur bei einer Mischung von:

3 Gew. Thl. Salmiak, 5 Salpeter, 16 Wasser	von	+ 10°	auf	— 10° R.
3 „ „ Glaubersalz, 2 Salpetersäure	„	10	„	— 12 „
8 „ „ Glaubersalz, 5 Salpetersäure	„	10	„	— 14 „

Man wird es ferner auch erklärlich finden, warum eine Erwärmung der als Lösungsmittel verwendeten Flüssigkeit die Auflösung eines festen Körpers beschleuniget, und warum sich manche Körper erst dann in einer Flüssigkeit auflösen, wenn diese bis zu einem gewissen Grade erhitzt, und die lebendige Kraft der Flüssigkeitsmolecüle dadurch entsprechend erhöht worden ist.

Endlich ist zu bemerken, dass eine Auflösung nur dann stattfinden kann, wenn die Flüssigkeit den festen Körper benetzt. Die Bedingungen unter welchen eine Benetzung stattfindet, können aber erst dann erörtert werden, wenn auch die Eigenschaften fester Körper in ähnlicher Weise zur Sprache gebracht worden sind.

(Verdampfung.) Aus derselben Definition des Bewegungszustandes flüssiger Körper lassen sich noch folgende Schlüsse ziehen:

Die Molecüle der Flüssigkeit werden nur durch den Druck des umgebenden Gases, respective durch die Stösse der Gasmolecüle zusammengehalten. Dieser Druck ist aber nicht so continuirlich und gleichmässig, dass man sagen könnte, er lasse kein einziges Flüssig-

Digitized by Google

keitstheilchen entweichen. Im Gegentheile folgt schon aus der in §. 1 abgeleiteten wahrscheinlichsten Vertheilung materieller Theilchen im Raume, dass sowohl im Gase als auch in der Flüssigkeit dichtere und minder dichte Stellen vorkommen müssen. Trifft nun eine dichtere Stelle der Flüssigkeit mit einer weniger dichten Stelle des Gases an der Oberfläche zusammen, so wird in jenem Puncte das Gleichgewicht, wenn auch nur für kurze Zeit, gestört, und es können sich einzelne Molecüle über das Niveau der Letzteren erheben.

Diese Molecüle werden ihre Bewegung in dem umgebenden Gase fortsetzen, und bilden in ihrer Gesammtheit den Dunst oder Dampf der tropfbaren Flüssigkeit.

Diese Erklärung der Dampfbildung führt von selbst auf den Gedanken, dass die Verdampfung in weit grösserem Masse dann eintreten müsse, wenn das Gleichgewicht zwischen den Molecülen der Flüssigkeit und jenen des Gases gestört wird, und dieses kann auf folgende zwei Arten geschehen:

1. Wenn man die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsmolecüle, also auch ihre lebendige Kraft, durch Erwärmung vergrössert; denn dann werden die Molecüle so lange von der Oberfläche der Flüssigkeit in den übrigen Gasraum ausströmen, bis das aus dem Dampfe und Gase gebildete Gemenge jene Spannkraft erlangt, welche der erhöhten lebendigen Kraft der Flüssigkeitsmolecüle das Gleichgewicht zu halten vermag. Ist dieser Zustand eingetreten, so ist auch der Dampf gesättiget.

2. Wenn man den Druck des die Flüssigkeit umgebenden Gases vermindert. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn man die Flüssigkeit unter den Recipienten der Luftpumpe bringt, und die Luft durch auspumpen verdünnt. Ferner ist auch bekannt, dass das Wasser auf hohen Bergen viel rascher verdunstet, und schon bei einer Temperatur von weniger als 100° C. zu sieden anfängt.

(Weltgas.) Hieraus lässt sich noch in weiterer Ausführung derselben Theorie folgender bemerkenswerthe Fall ableiten:

Würde man eine Flüssigkeit in einen absolut leeren Raum versetzen, so dass die Oberfläche derselben gar keinem Gasdrucke ausgesetzt wäre, so müsste sich eine gänzliche und stürmische Auflösung derselben in Dampf einstellen.

Digitized by Google

Dieser Fall tritt bei einigen Flüssigkeiten wie z. B. Wasser, Alkohol, Aether etc. wirklich dann ein, wenn die Luft über denselben gänzlich ausgepumpt wird; diese Flüssigkeiten gerathen in förmliches sieden und verdampfen sehr rasch.

Andere Flüssigkeiten aber, wie z. B. Quecksilber, bleiben in ähnlichem Falle nahezu unverändert; was man am besten an der Torricelli'schen Leere am Barometer beobachten kann. Es kann also unmöglich die Luft allein jenes Gas sein, welches die Quecksilbermolecüle zu einer Flüssigkeit zusammenhält; es muss vielmehr angenommen werden, dass nebst der atmosphärischen Luft noch ein anderes Gas den gesammten Raum erfüllt, welches jedoch feste Körper wie z. B. Glas, mit Leichtigkeit durchdringen kann, so dass es nicht möglich wird, den Druck desselben an der Quecksilbersäule wahrzunehmen.

Auch dieser Umstand deutet auf die Existenz jenes Gases hin, welches bereits an zwei früheren Orten unter dem Namen „Weltgas“ angeführt worden ist.

(Beschaffenheit der Flüssigkeitsoberfläche. Erstarrung.) Wenn man die hier gegebene Erklärung der Molecularbewegung in Flüssigkeiten mit einiger Aufmerksamkeit verfolgt, so wird man unwillkührlich zu der Bemerkung veranlasst, dass sich die freie Oberfläche einer jeden Flüssigkeit in ihrem Bewegungszustande wesentlich von dem Inneren derselben unterscheidet, daher sie auch in mancher Hinsicht andere Eigenschaften besitzen müsse.

Der Unterschied erstreckt sich einerseits auf die Art der Bewegung, und anderseits auf die Geschwindigkeit der Molecüle.

Während sich die Flüssigkeitsmolecüle im Inneren des Körpers geradlinig bewegen, beschreiben sie an der Oberfläche parabolisch gekrümmte Bahnen (Fig. 3); dadurch aber, sowie auch durch die verminderte Geschwindigkeit muss sich an der Oberfläche ein viel innigerer Zusammenhang zwischen den Theilchen zeigen, als im Innern. Die Beobachtung hat in der That auch gelehrt, dass tropfbare Flüssigkeiten an der Oberfläche gleichsam mit einem festen Häutchen überzogen scheinen, indem gewisse Körper, z. B. eine feine Nähnadel, Erdtheile u. s. w. auf einer Flüssigkeit schwimmen können, und sie wie ein leicht gespanntes Häutchen eindrücken, so lange sie nicht übernetzt sind; hingegen sehr rasch durch die ganze Flüssigkeit hinabfallen sobald

Digitized by Google

sie nass geworden sind, somit die Oberfläche durchbrochen haben. (S. Hessler-Pisko techn. Physik. Seite 185.)

Es folgt ferner aus demselben Umstande, dass die äusserste Schichte der Flüssigkeit bei eintretender Abkühlung zuerst erstarren muss: denn der Uebergang in den festen Zustand ist eine Folge der Geschwindigkeitsabnahme der Molecüle, und es ist selbstverständlich, dass jener Theil der Flüssigkeit, in welchem die Molecüle schon an und für sich die kleinste Geschwindigkeit besitzen, auch zunächst in jenen Zustand gelangen muss, welcher die Molecularbewegung in festen Körpern charakterisirt. Auch diese Eigenschaft der Flüssigkeiten ist hinreichend bekannt, so dass es kaum nöthig erscheint Beispiele hiefür anzuführen.

Endlich mag hier die noch unerklärt gebliebene Erscheinung erwähnt werden, dass sich kleine leichte Körpertheilchen, welche auf der Oberfläche einer Flüssigkeit liegen, gegenseitig anziehen, und sich bisweilen mit ziemlicher Geschwindigkeit einander nähern.

Diese Erscheinung lässt sich in ganz gleicher Weise wie jede andere Annäherung zweier Körper dadurch erklären, dass die Flüssigkeitsmolecüle, welche an der Oberfläche nur eine horizontale (tangentiale) Bewegung besitzen, innerhalb der einander zugewendeten Seiten dieser schwimmenden Körperchen weit öfter reflectirt werden als ausserhalb derselben. Es wird sich dann in Folge der zwischen den Letzteren eintretenden Bewegungsverzögerung an den Aussenseiten der Körper ein Ueberschuss an Molecularstössen herausstellen, welcher die beschriebene Annäherung hervorbringt.

Eine Annäherung kann hier um so eher stattfinden, als auch die in §. 8, *d*, besprochene Bedingung vorhanden ist, indem die auf der Oberfläche schwimmend erhaltenen Körper einem sehr geringen Widerstande der Bewegung begegnen.

Aehnliche Arten von Annäherung kann man übrigens auch an den in der Luft schwebenden Staubtheilchen beobachten, welche sich den Gesetzen der Schwere entgegen an andere Körper anheften. Diese Art von Anziehung lässt sich nicht durch die allgemeine Attraction erklären, indem eine einfache Rechnung zeigt, dass ein Staubtheilchen mit weit grösserer Kraft von der Erde angezogen wird, als von irgend einem beträchtlich grossen Gegenstande der Erdoberfläche, so dass sich die Staubtheilchen unmöglich durch

Digitized by Google

diese Anziehungskraft allein z. B. an der Zimmerdecke erhalten könnten, ohne herabzufallen.

§. 12. **Eigenschaften fester Körper.** Es ist für das Verständniss dieser Moleculartheorie von Wichtigkeit, dass man sich zunächst ein möglichst klares und richtiges Bild jener Vorgänge entwerfe, wie sie in jedem festen Körper stattfinden müssen.

Die Molecüle haben, wie schon an einem früheren Orte bemerkt worden ist, eine überaus geringe räumliche Ausdehnung, wodurch sie sich der unmittelbaren Beobachtung entziehen; es lässt sich demnach ein Einblick in die inneren Bewegungsverhältnisse der festen (und flüssigen) Körper kaum in anderer Weise als mit Hilfe der Rechnung erhalten.

Es handelt sich zunächst um die Beantwortung folgender zwei Fragen:

1. Wie weit kann ein Gasmolecül in einen festen Körper in gerader Richtung eindringen, ohne einem Molecüle dieses Körpers zu begegnen.

2. Welche Zeit benöthiget ein Gasmolecül, um einen festen Körper nach einer bestimmten Richtung zu durchschreiten.

Was die erste Frage anbelangt, so lässt sich dieselbe ziemlich vollständig beantworten. Man denke sich wieder zur leichteren Entwickelung der nöthigen Formeln den Raum, welchen der feste Körper einnimmt, in eben so viele gleiche, würfelförmige Theile eingetheilt, als Molecüle in demselben vorhanden sind; die Seite r eines solchen Würfels wird die mittlere Entfernung der Molecüle bezeichnen. Würde man in eine aus n übereinander geschichteten Würfeln bestehende Säule SS_1, welche von der Oberfläche des Körpers bis zur Tiefe R hineinreicht, (Fig. 7) von oben hineinsehen können, so müsste man in derselben durchschnittlich auch n Molecüle wahrnehmen, welche in ihrer Projection den quadratförmigen Raum Q ganz oder zum Theile bedecken.

Es kann nun mit Hilfe der in §. 1 entwickelten Formeln einerseits die mittlere Weglänge berechnet werden, welche ein Gasmolecül im Durchschnitte bei dem Eindringen in den betrachteten Körper zurücklegen wird, bevor es mit einem Körpermolecüle zusammenstosst; anderseits lässt sich auch die grösste Tiefe bestimmen, bis zu welcher ein Eindringen überhaupt möglich ist, d. h. über welche hinaus kein Gasmolecül mehr in

Digitized by Google

gerader Richtung (direct) **zwischen die Molecüle des Körpers gelangen kann** *).

Um von diesen Dimensionen annäherungsweise einen Begriff zu erhalten, mag hier folgendes Beispiel Platz finden:

Wenn man bedenkt, dass ein kleiner kugelförmiger Körper von $0 \cdot 1^{mm}$ Durchmesser mit freiem Auge, und ein Körper von 0.00005^{mm} Durchmesser bei 2000maliger Vergrösserung noch durch

---

*) Denkt man sich das Quadrat Q von der Seite r (Fig. 7) in $A = \frac{r^2}{\rho^2 \pi}$ gleiche Theile getheilt, so wird ein Molecül in der Projection durchschnittlich einen solchen Flächentheil bedecken. Wenn sich nun in dem Quadrate n Molecüle vorfinden, so wird die zur Berechnung der wahrscheinlichsten Vertheilung der Letzteren dienende Zahl s (s. Formel 2 im §, 1), welche das Verhältniss zwischen der Zahl der Molecüle zur Zahl der Flächentheile angibt, gleich sein,

$$s = \frac{n}{A} = \frac{n \rho^2 \pi}{r^2}$$

Es berechnet sich dann die Zahl a_0 der noch unbedeckt bleibenden Flächentheile nach Formel (2):

$$a_0 = \frac{A}{e^s} = \frac{r^2}{\rho^2 \pi . e^s}$$

Wenn man ferner annimmt, dass in die betrachtete Säule SS_1 Gasatome vom Halbmesser λ (parallel) einziehen, so werden dieselben früher oder später auf ihrem Wege einem Molecüle des festen Körpers begegnen, und von diesem zurückgeworfen werden. Es lassen sich folgende zwei Fälle unterscheiden:

1. Will man jene Tiefe R_1 kennen bis zu welcher **die Hälfte der Atome** ohne Anstoss gelangen kann, so hat man das Verhältniss der im Quadrate Q von den Molecülen **bedeckten** Fläche zur **unbedeckten**, also den Quotienten $\frac{a_0}{A}$ gleich $\frac{1}{2}$ zu setzen, und man erhält dann:

$$\frac{1}{e^s} = \frac{1}{2}; \text{ und } R_1 = nr = 0 \cdot 2203 \frac{r^3}{\rho^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (15)$$

2. Will man die Tiefe R berechnen, bis zu welcher höchstens ein Atom vom Querschnitte $\lambda^2\pi$ noch gelangen kann, so hat man die offen bleibende Fläche: $a_0\rho^2\pi$, gleich zu setzen dem Querschnitte des Gasatomes $\lambda^2\pi$, wodurch man erhält:

$$r = 2 \cdot 3026 , log \frac{r^2}{\lambda^2 \pi}$$

und

$$R = nr = \frac{sr^3}{\rho^2 \pi} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (16)$$

Die Formel (15) unterscheidet sich von der durch Clausius aufgestellten unwesentlich durch den Coëfficienten, und kann strenge genommen nur dann gelten, wenn der Radius der Gasmolecüle (λ) gegenüber ρ sehr klein ist.

Digitized by Google

ein Mikroskop wahrgenommen werden kann, so müssen Molecüle, welche selbst bei stärkster mikroskopischer Vergrösserung nicht erblickt werden können, noch bei weitem kleinere Dimensionen haben.

Gesetzt den Fall, es hätten die Molecüle irgend eines Körpers einen Halbmesser $\rho = 0{\cdot}00001^{mm}$, und ihre Entfernung sei,

in festem (oder flüssigem) Zustande: $r = 0{\cdot}0001^{mm}$
in gasförmigem Zustande: $r_1 = 0{\cdot}001^{mm}$

so berechnet sich mit Hilfe der Formel (15) die mittlere Weglänge der eindringenden Gasmolecüle, bei einem Körper

in festem (flüssigem) Zustande: $R_1 = 0{\cdot}0022^{mm}$
in gasförmigem Zustande: $R_1 = 2{\cdot}203^{mm}$

In gleicher Weise lässt sich mittelst der Formel (16) die grösste Tiefe R ermitteln, bis zu welcher überhaupt Gasmolecüle von bestimmtem Halbmesser in einen festen Körper direct eindringen können. Wenn man der Rechnung wieder dieselben Dimensionen zu Grunde legt, so ist die Dicke R derjenigen Schichte welche von Gasmolecülen direct durchdrungen werden kann, wenn der Halbmesser der Letzteren $\lambda = 0{\cdot}000001^{mm}$ angenommen wird:

bei einem Körper in festem Zustande: $R = 0{\cdot}026^{mm}$
bei einem Körper in gasförmigem Zustande: $R = 40{\cdot}33^{mm}$

Nach diesen als Beispiel vorgeführten Zahlen lässt sich schliessen, wie gering diese Schichtendicke sein müsse, und welchen bedeutenden Einfluss der Aggregatszustand eines Körpers auf das Vordringen der Molecüle eines Gases ausübt.

Es hat allerdings auch die Grösse der Gasmolecüle bei Berechnung der Schichtendicke R einen gewissen Einfluss; nur ist dieser bei weitem geringer, wie man aus folgenden Zahlen entnehmen kann:

Es sei für die früheren Annahmen ($\rho = 0{\cdot}00001^{mm}$, $r = 0{\cdot}0001^{mm}$)

der Radius der Gasmolecüle $\lambda = 0.000001$, so ist: $R = 0{\cdot}026^{mm}$
„ „ „ „ $\lambda = 0{\cdot}00000001$, so ist: $R = 0{\cdot}055^{mm}$

woraus hervorgeht, dass selbst Molecüle von 100mal kleinerem Halbmesser nur bis zur doppelten Tiefe in den betrachteten Körper einzudringen vermögen.

Digitized by Google

Gehen wir nun zur Beantwortung der zweiten Frage über, und versuchen die Zeit zu ermitteln, welche ein Gasmolecül benöthiget um einen festen Körper von gegebener Dicke zu durchschreiten.

Um dieselbe berechnen zu können, müssen wir zunächst erfahren, welchen Weg ein solches Molecül zurückzulegen hat um überhaupt den Körper durchdringen zu können. Dass dieses in gerader Richtung nicht möglich ist, haben wir soeben gesehen; es kann daher nur nach vielfacher Reflexion von einem Molecüle des festen Körpers zum anderen geschehen. (Siehe Fig. 8.)

Man kann nun zunächst nachweisen, dass von einer gewissen Anzahl von Gasatomen ($a\rho^2\pi$) welche, nach einer und derselben Richtung ziehend, ein Körpermolecül treffen, die Hälfte $\left(\frac{1}{2}a\rho^2\pi\right)$ oberhalb einer senkrecht zur Einfallsrichtung durch das Molecül gelegten Ebene, und die andere Hälfte unterhalb derselben Ebene reflectirt wird. Dasselbe gilt auch für jede andere Richtung.

Wenn also ein Gasmolecül von einem Körpermolecüle abprallt, so ist die Wahrscheinlichkeit einer Reflexion desselben oberhalb der gedachten Ebene in jedem Falle gleich: $\frac{1}{2}$. Wird ferner vorausgesetzt, dass diese Reflexion nach jeder Richtung gleich oftmal möglich ist, was wenigstens annäherungsweise der Fall sein wird, so zeigt die Rechnung, dass der mittlere Weg eines Gasmolecüles nach einer bestimmten Richtung, gleich ist der Hälfte des früher in Formel (15) berechneten mittleren Weges R_1 in beliebiger Richtung. — Es ist nämlich das arithmetische Mittel der Perpendikel $R_1 \sin\alpha$, welche von den Endpunkten der nach allen Richtungen auf einer Seite der Ebene gedachten Strahlen von der Länge R_1, auf die letztere gezogen werden können, gleich $\frac{1}{2}R_1$.

Will man nun den Weg eines Gasmolecüles durch einen festen Körper in bestimmter Richtung kennen lernen, so denke man sich den Körper senkrecht zu dieser Richtung durch parallele Ebenen in n Schichten von der Dicke $\frac{1}{2}R_1$ abgetheilt (Fig. 8); es wird dann offenbar jedes in den Körper einziehende Gasmolecül durchschnittlich von Schichte zu Schichte eine Reflexion erfahren, und

Digitized by Google

es lässt sich mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung nachweisen, dass jener Weg als der wahrscheinlichste zu betrachten ist, auf welchem das Molecül nach $\frac{5}{3}n$ facher Reflexion die andere Seite des Körpers erreicht. *)

Wäre uns die Zeitdauer τ bekannt, welche ein Atom zur Aenderung der Richtung und Geschwindigkeit während einer Reflexion benöthiget, so könnten wir auch jene Zeit berechnen, welche dasselbe zu einem Durchschreiten des Körpers in Anspruch

---

*) Wenn wir uns den Körper senkrecht zur gegebenen Richtung in n Schichten von der Dicke $\frac{R}{2}$ abgetheilt denken (Fig. 8), so ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gasatom diese Schichten nach n Reflexionen durchziehen wird, gleich:

$$W_0 = \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

Diese Wahrscheinlichkeit ist für einen halbwegs grösseren Werth von n sehr gering; es kann aber auch das Atom $n+2r$ Reflexionen durchmachen, (wobei r irgend eine ganze Zahl bezeichnet) ehe es zum Austritte gelangt. Dabei sind so viele verschiedene Fälle möglich, als es Complexionen von n Elementen zur r^{ten} Classe mit Wiederholung gibt, nämlich:

$$\binom{n+r-1}{r}$$

Daraus folgt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gasatom den festen Körper nach einer die Schichten senkrecht durchschneidenden Richtung nach $n+2r$ Reflexionen durchschreiten werde:

$$W_{n+2r} = \binom{n+r-1}{r}\left(\frac{1}{2}\right)^{n+2r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

Diese Wahrscheinlichkeit nimmt anfänglich, für $r=0, 1, 2, \ldots$ zu, bis sie ein Maximum erreicht, und dann wieder abnimmt. Dieses Maximum wird jenem Werthe von r entsprechen, welcher sich aus der Gleichung

$$W_{n+2r} - W_{n+2r+1} = 0$$

ergibt, und dieser Werth von r liegt zwischen den Zahlen:

$$\frac{n-4}{3} \text{ und } \frac{n-1}{3}$$

Es ist daher als der wahrscheinlichste Weg jener Weg zu betrachten, welcher von dem Gasmolecüle nach $n+\frac{2n}{3}-2$ Reflexionen, oder, weil n stets eine bedeutend grosse Zahl vorstellt, nach $\frac{5}{3}n$ Reflexionen zurückgelegt wird.

Digitized by Google

nehmen wird. Bezeichnet man diese Zeit mit z, die Geschwindigkeit des Moleculles mit c und die Dicke des Körpers in der Richtung, welche durchschritten werden soll mit D, so ist wegen $n = \frac{2D}{R_1}$, auch:

$$z = \frac{5}{3}\left(\frac{D}{c} + \frac{2D\tau}{R_1}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Der Quotient $\frac{D}{c}$ bezeichnet die Zeit, während welcher das Gasmolecül den Raum des Körpers in gerader Richtung und ohne Zusammenstoss hätte durchdringen können; nennen wir diese Zeit t so ist auch

$$z = \frac{5}{3}\left(t + \frac{2D\tau}{R_1}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

Die Zeit τ ist uns allerdings nicht bekannt; allein wenn τ nur den hundertsten Theil von t ausmacht, so würde bei dem zuletzt als Beispiel angeführten festen Körper, wegen $R_1 = 0{\cdot}0022^{mm}$, ein Gasmolecül um eine Platte von 1^{mm} Dicke durchdringen zu können, eine 18mal längere Zeit benöthigen, als zum freien, ungehinderten Durchzuge; für $\tau = \frac{t}{10}$ würde schon eine 180malige Verzögerung in der Bewegung eintreten.

(Absorption.) Diese vorausgesendete Betrachtung setzt uns in den Stand, die Eigenschaften fester Körper, namentlich aber das eigenthümliche Verhältniss der Letzteren zu den sie umgebenden Gasen erklärend ableiten zu können.

Wenn es möglich wäre einen festen Körper zu erhalten, der in seinem Inneren entweder gar keine, oder nur so viele Gasmolecüle enthält, als sonst auf den von ihm eingenommenen Raum unter gewöhnlichen Verhältnissen entfallen, so müsste in dem Momente, als der Körper in ein Gas hineingestellt wird, ein Einströmen der Gasmolecüle in die Poren desselben eintreten.

Dieses Einströmen müsste aus dem Grunde erfolgen, weil die Spannkraft des zwischen den Körpermolecülen eingeschlossenen Gases bei gleicher Dichte eine geringere ist, als ausserhalb des Körpers. (§. 10, Seite 38.)

Nachdem aber die Gasmolecüle nicht gerade aus, sondern unter vielfacher Reflexion in den Körper eindringen können, so wird, wie wir soeben gesehen haben, ihre Bewegung derart ver-

Digitized by Google

zögert, dass sie viel längere Zeit im Inneren verweilen, als dieses bei völlig freiem Durchzuge der Fall wäre.

Während also ein in den Körper eintretendes Molecül die Zeit $t = \frac{D}{c}$ zum freien Durchzuge benöthiget hätte, wird dasselbe erst nach der Zeit z (s. Formel 18) austreten können; während die Molecüle im freien Gase eine mittlere Entfernung r haben, werden sie im Inneren des Körpers in Folge dieser Bewegungsvergrösserung bis auf die Entfernung: $r\frac{t}{z}$ einander näher rücken.

Die Dichte des äusseren Gases d, wird dann zur Dichte des Gases im Innern des Körpers δ, in folgendem Verhältnisse stehen:

$$d : \delta = 1 : \frac{125}{27}\left(1 + \frac{2\,c\tau}{R_1}\right)^3 \quad \ldots\ldots (20)$$

Um sich auch hier wieder einen Begriff bilden zu können, wie gross unter Umständen die Verdichtung des Gases im Inneren des Körpers werden kann, nehme man an:

$c = 480000^{mm}$ (Geschwindigkeit der Lufttheilchen)
$R_1 = 0{\cdot}0022^{mm}$ (siehe Seite 49)
$\tau = \frac{1}{48{,}000.000}$ Secunden, so ist:

$$\delta = 6160 . d$$

Es würde also schon in diesem Falle eine 6000malige Verdichtung des Gases im festen Körper eintreten müssen.

Als besonders bemerkenswerth ist hier zu erwähnen, dass sich selbst in jenem Falle, als die Aenderung der Richtung und Geschwindigkeit während des An- und Abprallens keine Zeit beansprucht (also für $\tau = 0$), eine 4·6malige Verdichtung des Gases im Innern des festen Körpers einstellen muss.

Diese Eigenschaft fester und flüssiger Körper, eine grosse Menge verschiedener Gase in sich aufnehmen zu können, ist unter dem Namen Absorption bekannt.

Im gewöhnlichen Zustande ist das verdichtete Gas im Körper nicht wahrnehmbar; es zeigt sich nur dann, wenn sich entweder der äussere Druck des Gases ändert, oder wenn auf irgend eine Weise das in einem festen Körper enthalten gewesene Gas theilweise entfernt worden ist.

Digitized by Google

Den ersten Fall können wir beim Wasser beobachten, welches im luftverdünnten Raume, oder wenn es erwärmt wird, eine Menge Luft entweichen lässt, die in den Poren in bedeutend comprimirtem Zustande enthalten war. Auch die bekannte Erscheinung, daes das Wasser eine grosse Quantität Kohlensäure namentlich bei erhöhtem Drucke zu absorbiren vermag, lässt sich in gleicher Weise erklären. Die Kohlensäure zeigt bekanntlich bei der Compression unter den bekannten Gasen die grösste Abweichung vom Mariotte'schen Gesetze, und wenn wir uns an die in §. 10 hiefür gegebene Erklärung erinnern, so werden wir finden, dass der Quotient $\frac{\tau}{t}$ (siehe Formel 13), also auch das Zeitintervall τ, gerade bei diesem Gase verhältnissmässig grösser sein müsse, als bei anderen Gasen. Dadurch wird auch die stärkere Verdichtung der Kohlensäure in flüssigen oder festen Körpern leicht erklärlich.

Der zweite Fall, in welchem eine Absorption bemerkbar werden kann, tritt bei der Kohle, und in noch auffallenderem Masse beim Platinschwamm ein.

Durch das Glühen des Platinschwammes werden die in demselben enthaltenen Gase und Dämpfe theilweise entfernt, und es muss dann nach erfolgter Abkühlung ein Ausgleich zwischen der Spannkraft des äusseren und inneren Gases in der zuvor beschriebenen Weise eintreten. Welche bedeutende Verdichtung dabei stattfinden muss, entnehmen wir daraus, dass sich bei gleichzeitigem Einströmen von Wasserstoff und Sauerstoff eine Vereinigung derselben zu Wasser unter Licht- und Wärmeentwickelung zeigt.

Die hier beschriebene Eigenschaft der Absorption steht auch in vollem Einklange mit der in §. 9 erklärten Entstehung fester Körper; denn es ist gar nicht denkbar, dass eine beliebige Gruppe von Molecülen, zwischen die in Bewegung begriffenen Atome eines Gases versetzt, in ruhendem Zustande verbleiben kann, und zwar aus dem wiederholt genannten Grunde, weil durch die zwischen den Molecülen entstehende Bewegungsverzögerung der Atome, in demselben Momente als man sich die Gruppe in das Gas versetzt denkt, auch eine Verminderung in der Spannkraft des Letzteren innerhalb der Moleculargruppe eintreten muss.

Ein Ausgleich zwischen beiden Spannungen wird dann auf doppelte Art geschehen:

1. Nachdem die Körpermolecüle den Atomen nicht gestatten,

Digitized by Google

in gerader Richtung in das Innere vorzudringen, so werden die Molecüle durch den äusseren Anprall der Atome allmälig zusammengedrängt werden.

2. Wird gleichzeitig auf dem Wege der Reflexion ein Einströmen des äusseren Gases zwischen die Molecüle stattfinden, und zwar so lange, bis zwischen dem inneren und äusseren Gase das Gleichgewicht hergestellt worden ist.

(Widerstandsfähigkeit gegen Zug und Druck.) Aus der soeben gegebenen Erklärung ist zu ersehen, dass sich die Molecüle eines festen Körpers in jenem Gleichgewichtszustande befinden, in welchem der Druck des äusseren Gases dem Drucke des verdichteten inneren Gases entgegenwirkt.

Jede Kraft, welche eine Störung dieses Gleichgewichtes herbeiführen will, muss daher nach innen wie nach aussen auf Widerstand stossen. Wollte sie die Körpertheilchen einander nähern, so müsste sie eine Compression des ohnehin schon bedeutend verdichteten inneren Gases bewirken; wollte sie aber die Theilchen auseinander treiben, so müsste sie jenem äusseren Gasdrucke entgegentreten, welcher die Theilchen ursprünglich einander genähert hat.

Soll aber auch die Grösse dieser Widerstandsfähigkeit erklärt werden, so kann man unmöglich die atmosphärische Luft allein als jenes Gas betrachten, welches die Körpermolecüle derart zusammenhält; denn es ist bekannt, dass feste Körper dem Zug und Druck einen Widerstand entgegensetzen, der nicht nach einer Atmosphäre, sondern bisweilen nach tausenden von Atmosphären gemessen werden kann.

Diese ungewöhnlich grosse Widerstandsfähigkeit fester (und flüssiger) Körper leitet uns zu der Vermuthung, es müsse nebst den irdischen Gasen noch ein anderes Gas von bedeutend grösserer Spannkraft den Raum erfüllen, welches allen Körpern die ihnen eigenthümliche Festigkeit verleiht.

Wir gelangen hier abermals zur Annahme des bereits in §. 8 erwähnten Weltgases, welches wir nun schon an vier Orten zur Erklärung von ganz verschiedenartigen Erscheinungen benöthiget hatten.

Es handelt sich ferner noch darum, die Art und Weise des Körperwiderstandes, und den Unterschied, der sich bei festen und flüssigen Körpern in dieser Hinsicht zeigt, festzustellen.

Digitized by Google

Es wurde gleich zu Anfang dieses Paragraphen nachgewiesen, dass die Molecüle eines Gases nur in eine sehr dünne Schichte des Körpers direct eindringen können. Denken wir uns also einen Körper in Schichten von der Dicke R (Formel 16) nach allen möglichen Richtungen abgetheilt (Fig. 8), so werden die innerhalb eines Würfel- oder Kugelraumes vom Durchmesser R befindlichen Gasatome nicht direct in irgend einen der Nachbarräume gelangen können, und man kann sich dann den festen Körper etwa so vorstellen, als wäre derselbe aus einer sehr grossen Zahl von kleinen Gasbläschen zusammengesetzt, welche Bläschen mit sehr dichter Luft gefüllt, und untereinander zu einem Ganzen verbunden sind.

Wird ein derart zusammengefügter Körper an zwei entgegengesetzten Enden einem Drucke ausgesetzt, so wird das in den Bläschen befindliche Gas theilweise zusammengepresst, und durch die erhöhte Spannkraft desselben eine Ausbreitung des Körpers nach jenen Richtungen bewirkt, auf welche von aussen kein besonderer Druck (mit Ausnahme des äusseren Gasdruckes) einwirkt.

Wird aber auf den Körper an zwei einander entgegengesetzten Enden ein Zug ausgeübt, so muss sich in ähnlicher Weise ein Zusammenziehen des Körpers an den freien Seiten zeigen.

Beide Arten, Zug und Druck, bewirken in diesem Falle grösstentheils nur eine Formveränderung, und es ist auch leicht einzusehen, dass die Widerstandsfähigkeit in beiden Fällen, so lange die Formveränderung noch sehr gering ist, beim Zug wie beim Druck dieselbe bleibt.

Würde man aber den Körper von allen Seiten einem Drucke aussetzen, so dass eine seitliche Ausbreitung, oder das seitliche Ausweichen der Molecüle nicht statthaben könnte, so müsste sich der Zusammenpressung derselbe Widerstand, wie bei einem stark comprimirten Gase entgegenstellen.

Dieser Fall kommt in der Regel bei festen Körpern, bei welchen ein allseitiges Zusammendrücken schwer durchzuführen ist, nicht vor; wohl aber kann man ihn bei der Compression von Flüssigkeiten beobachten.

Tropfbar flüssige Körper unterscheiden sich in Bezug auf ihre Dichte sehr wenig von dem Zustande fester Körper; ein wesentlicher Unterschied zeigt sich nur darin, dass die Molecüle der Flüssigkeiten in fortschreitender Bewegung begriffen sind

Digitized by Google

daber sie auch eine Formveränderung flüssiger Körper innerhalb der Gleichgewichtsgrenzen des inneren und äusseren Gasdruckes leicht gestatten.

Wird aber auf eine Flüssigkeit in einem allseitig abgeschlossenen Gefässe ein Druck ausgeübt, so widersetzt sich das im inneren befindliche stark verdichtete Gas in Gemeinschaft mit der lebendigen Kraft der Flüssigkeitsmolecüle einer weiteren Compression. Dieses ist der Grund wesshalb sich Flüssigkeiten nur äusserst wenig zusammendrücken lassen.

(Cohäsion.) Wir sind auf diese Art dazu gelangt, die Cohäsion der Körper, oder den Zusammenhang der Molecüle derselben, anstatt durch eine Anziehungskraft der Letzteren, durch den von aussen geübten Gasdruck zu erklären.

Es folgt daraus von selbst, dass sich der erwähnte Zusammenhang auch dann einstellen muss, wenn man zwei an ihrer Aussenfläche genau geebnete (polirte) Körper einander derart nähert, dass zwischen die einander berührenden Flächen kein Gas direct gelangen kann,

Beide Körper werden dann gleichsam eine einzige Moleculargruppe bilden, und das dieselben umgebende Gas wird sie durch äusseren Druck ebenso zusammenhalten, wie es bei einem einzigen Körper der Fall wäre.

Allerdings kann die vollständige Annäherung der beiden betrachteten Körper praktisch schwer durchgeführt werden, und es wird sich die Cohäsion nur in dem Masse einstellen, als es gelungen ist, die innige Berührung beider Körper in möglichst vielen Punkten herzustellen.

(Undurchdringlichkeit.) Es ist eine besondere Eigenthümlichkeit gewisser fester Körper, weder die atmosphärische Luft noch andere Gase von einem Raume in den anderen durchzulassen. Diese Eigenthümlichkeit, welche mit den vorangesendeten Erklärungen theilweise im Widerspruche zu stehen scheint, bedarf einer näheren Erörterung.

Man sollte nämlich aus der früher gegebenen Beschreibung des Zustandes fester Körper und aus ihrem Verhalten zu den sie umgebenden Gasen erwarten, dass diese Gase jeden festen Körper passiren können, wenn auch zu ihrem Durchgange eine etwas längere Zeit erforderlich ist.

Digitized by Google

Nach der Formel (17) zu urtheilen, sollte die atmosphärische Luft eine Platte von 1^{mm} Dicke in weniger als einer Secunde durchdringen können; es lehren aber Versuche mit der Luftpumpe, sowie auch die Beobachtungen an einem Quecksilberbarometer, dass man aus einem mit Glas abgeschlossenen Raume die atmosphärische Luft nahezu vollständig entfernen könne, ohne dass sich derselbe Raum sobald mit Luft wieder füllt. In der Barometerröhre kann sich der obere luftleere Raum mehrere Jahre hindurch ohne erheblichen Zuwachs von Luft erhalten.

Dieser scheinbare Widerspruch löst sich von selbst, wenn man im Raume nebst den bekannten Gasen auch noch das Vorhandensein des Weltgases voraussetzt.

Wenn man nämlich mit Rücksicht auf die früher erörterten Eigenschaften des Weltgases annimmt, dass die Molecüle desselben viel kleiner sind, dass sie sich mit weit grösserer Geschwindigkeit durch den Raum bewegen, und einen weit intensiveren Druck als jedes andere Gas ausüben; so muss man auch zugeben, dass das Weltgas nicht blos auf die Molecüle des festen Körpers, sondern auch auf die in demselben enthaltenen Molecüle eines anderen gewöhnlichen Gases einen Druck ausüben, und dieselben gleichsam zusammenhalten wird.

Dadurch aber kann die in dem Körper eingeschlossene Luft unter dem Drucke des Weltgases eine Art Flüssigkeit bilden, so zwar, dass die Molecüle derselben nicht frei wie in einen luftleeren Raum aus dem Körper ausströmen, sondern nur einzeln gleichsam als Dampf entweichen können.

Auf diese Art tritt die in einem festen Körper eingeschlossene verdichtete Luft dem luftleeren Raume gegenüber in dasselbe Verhältniss, wie wir es z. B. am Quecksilber wahrnehmen können. (Siehe §. 11.)

Diese Eigenschaft der Undurchdringlichkeit wird offenbar nur Körpern zukommen, deren Molecüle so nahe beisammen stehen, dass das zwischen ihnen befindliche Gas hinreichend dicht wird, um die Eigenschaften einer Flüssigkeit annehmen zu können.

Ist dieses nicht der Fall, d. h. besitzt der Körper sehr grosse Poren, oder ein zellenartiges Gefüge mit grösseren lufterfüllten Räumen, so ist auch die gössere Möglichkeit eines Durchdringens vorhanden. Wir können dieses an den sogenannten porösen Scheidewänden aus Thon u. s. w. beobachten, durch

Digitized by Google

welche nicht nur eine Diffusion der Gase, sondern auch eine Vermengung der durch die Scheidewand getrennten Flüssigkeiten unter Umständen möglich ist.

Wenn wir endlich das Weltgas selbst als das letzte Glied in der Reihe der nach ihrer specifischen Dichte geordneten Gase und Dämpfe voraussetzen, so müssen wir auch zugeben, dass weiter kein Hinderniss bestehen könne, welches dem Weltgase den Eintritt in alle Räume wehren könnte; denn angenommen es sei möglich dieses Letztere ähnlich der atmosphärischen Luft aus einem abgeschlossenen Raume auszupumpen; so müsste in demselben Momente, als eine Druckverminderung im Innern des Gefässes eintritt, ein stärkeres Ausströmen der Weltgasatome aus den Gefässwänden, und ein vermehrtes Einströmen derselben von der Aussenseite in den Wandkörper erfolgen, welcher Process alsbald einen Ausgleich zwischen der inneren und äusseren Spannung herstellen würde.

Es ist daher nicht denkbar, dass wir den Druck des Weltgases unmittelbar wahrnehmen können; wohl aber sind wir im Stande denselben mittelbar an der beim Durchgange durch einen festen Körper entstehenden Bewegungs-Verzögerung zu beobachten, welche sich auf der anderen Seite durch einen erhöhten Druck als Schwere (§. 8) äussert.

Die Wirkungen dieses uns noch ganz unbekannten Gases können wir überhaupt nur in jenen Fällen wahrnehmen, in welchen eine Störung in dem Gleichgewichte desselben eintritt.

Eine solche Störung kann, nebst der eben erwähnten Bewegungsverzögerung, auch durch theilweise Erhöhung oder Verminderung der Moleculargeschwindigkeit entstehen; sie kann sich überdiess bei Veränderungen in der molecularen Beschaffenheit einzelner Körper durch ein massenhafteres Ausströmen der Weltgasatome in den umgebenden Raum bemerkbar machen.

Aus dem ganzen hier entwickelten Systeme dürfte man ersehen haben, dass das wiederholt erwähnte Weltgas ein Factor ist, mit dem man unbedingt zu rechnen hat, wenn man für sämmtliche Naturerscheinungen ohne Annahme besonderer Anziehungs- und Abstossungskräfte eine entsprechende Erklärung finden will. Aus diesem Grunde erscheint es vor allem nöthig, die Berechtigung der Annahme einer solchen Gasart aus der Theorie der Be-

Digitized by Google

wegung selbst abzuleiten, und die eigenthümlichen Eigenschaften derselben näher zu präcisiren.

Erst dann wird es möglich noch andere Fragen, darunter auch die Beziehungen fester Körper zu tropfbaren Flüssigkeiten (Adhäsion und Capillarität), ferner die Erscheinungen welche wir unter dem Namen Licht, Wärme, Elektricität u. s. w. kennen, zur Sprache zu bringen, indem gerade bei der Erklärung dieser Eigenschaften und Erscheinungen die Existenz des Weltgases nothwendiger Weise vorausgesetzt werden muss.

Digitized by Google

III.

Bildung der Molecüle und Weltkörper.

Die Lehre von den Naturkräften, wie sie heutzutage die wissenschaftliche Grundlage unserer Naturanschauung bildet, hat sich theils durch ihr Alter, theils durch die der Wissenschaft geleisteten Dienste ein so ehrwürdiges Ansehen erworben, dass man es bisher kaum gewagt hat, an der Richtigkeit derselben zu zweifeln.

Dass in der Natur ein Stoff vorhanden sein müsse, aus dem einstens alle Körper gebildet worden sind, wird nun allerdings Niemand leicht in Abrede stellen; ob aber diesem Stoffe auch eine Kraft innewohnt, die im Stande ist auf entfernte Theile der Materie einzuwirken, erscheint doch noch in mancher Hinsicht sehr fraglich.

Ich habe in den früheren Abschnitten jene allgemeinen Betrachtungen vorangesendet, welche in mir die Ueberzeugung erweckt hatten, dass die Annahme besonderer Anziehungs- und Abstossungskräfte zur Erklärung gewisser Naturerscheinungen entbehrlich ist, indem sich die Wirkungen dieser Kräfte auf die Bewegung, als Grundursache, zurückführen lassen. — Diese Betrachtungen führten überdiess zu dem Resultate, dass uns noch die Kenntniss eines Gliedes in der Kette der bekannten Formen der Materie fehle.

Gestützt auf diese einleitenden Ideen will ich es nun versuchen, ein vollständigeres und übersichtliches Bild der angedeuteten Theorie der allgemeinen Bewegung zu entwickeln, um darzuthun, dass die einem Systeme freier, ruhender Atome durch einen einzigen Stoss ertheilte Bewegung in der That die Ursache jener Zustände und Erscheinungen

Digitized by Google

werden konnte, die wir an den uns umgebenden grossen und kleinen Welten täglich beobachten und bewundern können.

§. 13. **Urzustand der Materie.** Die wissenschaftliche Brauchbarkeit einer Theorie kann am zweckmässigsten dadurch geprüft werden, dass man die ihr zu Grunde liegende Idee vom ersten Keime ihrer Entwicklung an bis in die äussersten Consequenzen aufmerksam verfolgt. Man wird dadurch allerdings genöthiget, gleichsam auf den Ursprung aller Dinge zurückzugreifen; doch geschieht dieses weniger in der Absicht, diesen Ursprung wirklich ergründen zu wollen. Es handelt sich hier nur um den Nachweis, ob die fragliche Theorie mit der Natur in allen Punkten im Einklange stehe, und ob sie auch im Stande sei, alle ihr vernünftiger Weise vorgelegten Fragen ohne Beihilfe neuer Hypothesen zu beantworten.

Um also ein Bild der Entstehung und Entwicklung unserer Weltkörper zu erlangen, müssen wir bis auf jenen Zeitpunkt zurückgehen, in welchem sich die gesammte Materie des Weltalls in dem einfachsten Zustande befunden hat.

Welcher Art mochte aber dieser Zustand gewesen sein? — Die Antwort darauf ist nicht schwer zu finden.

Raum und Zeit sind im allgemeinen formlose, ewig unveränderliche Grössen. Diese waren zu Anfang aller Dinge gewiss ebenso beschaffen, wie sie es auch jetzt noch sind.

Die Materie besteht, der Voraussetzung nach, aus gesonderten, abgeschlossenen Aggregaten, von bestimmter Form und Grösse. — Wenn wir unter dem Namen „Atom“ das kleinste, nicht weiter theilbare Element der Materie verstehen, so müssen wir vorderhand auch die Atome als unveränderlich in Bezug auf Form und Grösse betrachten; denn, so lange jede willkührliche Annahme ausgeschlossen bleibt, ist ja kein Grund vorhanden, denselben irgend eine Veränderlichkeit zuschreiben zu wollen. Dagegen ist die gegenseitige Stellung und Entfernung der Atome als veränderlich zu betrachten, und mochte ursprünglich eine ganz andere gewesen sein.

Die Bewegung endlich ist ein Zustand, der mit der Materie nicht unveränderlich verbunden ist, sondern von einem Theile derselben auf den anderen übertragen werden kann. Die Bewegung

Digitized by Google

ist es auch, welche die gegenseitige Stellung der Atome im Raume verändert.

Wir können uns daher recht gut denken, dass Raum, Zeit und Materie als etwas Unveränderliches, von allem Anbeginne in gleicher Beschaffenheit vorhanden waren, während die Bewegung, als etwas Veräusserliches, erst von irgend einem Zeitpunkte angefangen, der Materie mitgetheilt worden ist. Der einfachste, primitivste Zustand der Materie ist demnach der Zustand der Ruhe, und zwar, wie man mit Rücksicht auf die in §. 1 erörterten Gründe annehmen muss, in jener ganz zufälligen Vertheilung der Atome, wie sie der gleichen Wahrscheinlichkeit für alle Orte des Raumes entspricht. *)

Was die Form, Grösse und Beschaffenheit der Atome anbelangt, so wurden wohl schon in §. 4 die charakteristischen Eigenschaften der Letzteren angeführt; nur erscheint es auch hier wieder, des einfacheren Ideenganges wegen, zweckmässig, zunächst alle Atome als gleich zu betrachten, und erst später zu dem allgemeineren Falle, der ungleichen Atomgrösse, zu schreiten.

§. 14. **Die erste Bewegung.** Von diesem Zustande ausgehend nehme man an, es werde dem noch ruhenden Atomensisteme eine Bewegung ertheilt.

Welcher Art aber mochte diese allererste Bewegungs-Erregung gewesen sein?

Ueber diese Frage werden wir allerdings niemals völlige Gewissheit erhalten, und können daher wieder nur von jener Annahme ausgehen, welche unter allen übrigen als die einfachste und wahrscheinlichste erscheint.

Die einfachste Art der Bewegungs-Mittheilung aber ist der Stoss. Auf einen oder mehrere Stösse lassen sich bekanntlich alle

*) Diese Art der Vertheilung kommt nämlich überall dort vor, wo das Eintreten gewisser Ereignisse als etwas rein zufälliges betrachtet werden kann. Man kann sich dieselbe leicht versinnlichen, wenn man über eine horizontale Ebene eine beliebige Anzahl von Körnern regellos verstreut, ohne irgend einen Theil der Fläche besonders zu bevorzugen. Die Körper werden sich, selbst bei einem Bestreben sie möglichst gleichmässig zu zerstreuen, stets bis zu einem gewissen Grade ungleich vertheilt zeigen, ohne dass man einen Grund angeben könnte, warum sie an einzelnen Orten dichter liegen als anderwärts.

Digitized by Google

Bewegungsformen zurückführen, und der Stoss ist es auch, durch welchen sich, nach der uns nunmehr geläufig gewordenen Anschauungsweise, die Bewegung von einem Atome auf ein anderes fortpflanzen kann.

Es lässt sich nun als besonders bemerkenswerth nachweisen, dass schon ein einziger beliebig geführter Stoss die Ursache jener Bewegung werden konnte, welche wir bereits im §. 3 als die wahrscheinlichste Bewegung eines Sistemes gleicher Atome erkannt haben, und von der man auch weiss, dass sie den Molecularzustand der Gase charakterisirt.

Stellen wir uns nämlich in einem beliebig grossen Raume ein Sistem von *n* gleichen, freien und ruhenden Atomen in ganz zufälliger (wahrscheinlichster) Vertheilung vor, und nehmen an, es werde einem Atome *A* ein Stoss ertheilt, so wird sich dieses Atom offenbar mit der erlangten Geschwindigkeit, die wir *c* nennen wollen, so lange gleichförmig fortbewegen, bis es einem zweiten Atome *B* begegnet und mit diesem zusammenstosst.

Es kommt nun darauf an, in welcher Weise sich diese Atome treffen:

Stossen die elastisch gedachten Atome central zusammen, so tauschen sie Richtung und Geschwindigkeit einfach aus. Während vor dem Stosse *A* die Geschwindigkeit *c*, *B* die Geschwindigkeit *o* hatte, wird es nach dem Stosse umgekehrt der Fall sein.

Stossen sie unter einem Winkel von 45° zusammen, so prallen sie mit gleicher Geschwindigkeit $\left(\frac{c}{\sqrt{2}}\right)$ auseinander, und jedes Atom zieht unter einem Winkel von 45° gegen die ursprüngliche Richtung nach vorwärts.

Stossen *A* und *B* sehr nahe am Rande zusammen, so dass sich die (kugelförmigen) Atome kaum berühren, so behält jedes derselben seine Geschwindigkeit nahezu unverändert bei.

Zwischen diesen drei Hauptfällen werden nun in zahlreichen Abstufungen alle übrigen Fälle liegen, so dass sich die lebendige Kraft des ersten Atomes *A* bei jedem Zusammenstosse in zwei gleiche oder ungleiche Theile theilt, und ein solcher Theil stets auf ein anderes (ruhendes) Atom übertragen wird.

Man kann nun auf mathematischem Wege nachweisen, dass jener Fall, in welchem die Atome mit gleicher Geschwindig-

Digitized by Google

keit $\left(\frac{c}{\sqrt{2}}\right)$ nach dem Stosse auseinanderziehen, der wahrscheinlichste ist, und am häufigsten vorkommen wird.*)

Wenn man dann die auf solche Art auseinanderprallenden Atome in Gedanken verfolgt, wie ein jedes wieder an ein ruhendes Atom anstosst, und diesem einen Theil der lebendigen Kraft übergibt, so wird man leicht einsehen, dass die dem ersten Atome ertheilte fortschreitende Bewegung, nach 1, 2, 3, 4, u. s. w. Zeitabschnitten allmählig auf 2, 4, 8, 16, u. s. w. Atome übertragen wird. Gleichzeitig muss sich auch die ursprüngliche Geschwindigkeit c nach jedem Zusammenstosse vermindern, und im Durchschnitte so wie die Zahlen:

$$\frac{c}{\sqrt{2}}, \quad \frac{c}{2}, \quad \frac{c}{2\sqrt{2}}, \quad \frac{c}{4}, \quad \ldots\ldots \text{ u. s. w.}$$

abnehmen.

Es ist auch klar, dass sich diese Bewegung nach allen möglichen Richtungen fortpflanzen muss; denn es können je zwei Atome unter jedem Winkel zusammenstossen, und in jeder möglichen Richtung auseinanderziehen. Namentlich aber wird man dann, wenn sich die Bewegung endlich allen Atomen mitgetheilt hat, und jedes Atom auch mit verschiedenen Nachbaratomen zum Zusammenstosse kam, keinen Grund haben annehmen zu können, dass einzelne bestimmte Richtungen regelmässig häufiger vertreten sein sollten, als alle übrigen.

Wenn also ein solches Sistem längere Zeit sich selbst überlassen bleibt, so müssen zuletzt alle Bewegungsrichtungen der Atome gleich wahrscheinlich werden, so dass bezüglich der wirklichen Vertheilung derselben wieder jene Regel gilt, welche in §. 3 abgeleitet und in folgender Weise ausgesprochen worden ist: „Sind in einem Raume nur Atome gleicher Grösse, so bewegen sich dieselben geradlinig und gleichförmig nach allen Seiten des Raumes. Die Zahlen der in gleichen Zeiten durch denselben Raum ziehenden Atome sind im allgemeinen ungleich, nähern sich aber desto mehr einem constanten Werthe, je längere Zeitabschnitte man in Betracht zieht.“

---

*) Man sehe den Beweis im Anhange (1), wo der leichteren Uebersicht halber alle mathematischen Ableitungen zusammengestellt sind.

Digitized by Google

Diese Art allgemeiner Bewegung, welche dort nur als die wahrscheinlichste bezeichnet werden konnte, stellt sich hier als eine nothwendige Folge eines dem Sisteme freier Atome mitgetheilten Stosses dar, und nachdem sich jede Bewegungserregung auf eine Reihe von Stössen zurückführen lässt, so musste sich diese Bewegungsform auch unter allen Umständen einstellen, welcher Art immer jene Bewegung gewesen sein mochte, die der Materie ursprünglich mitgetheilt worden ist; sobald nur letztere längere Zeit hindurch sich selbst, ohne weitere äussere Einwirkung überlassen blieb.

Wir sehen auf diese Art durch einen einzigen Stoss aus ruhenden, regellos zerstreuten Atomen ein Gas entstehen.

§. 15. **Entstehung der Molecüle.** Wir haben bis hierher bei dem beschriebenen Vorgange nur die Fortpflanzung der Bewegung im Auge behalten; wenn wir aber auch die gegenseitige Stellung und Entfernung der Atome in Betracht ziehen, so treten uns noch andere, eigenthümliche Erscheinungen entgegen.

Die Uebertragung der Bewegung von Atom zu Atom muss offenbar eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen; es wird anfänglich nur eine geringe Zahl von Atomen in Bewegung sein, und diese Zahl wird rasch, u. zw. durchschnittlich wie die Potenzen der Zahl 2, wachsen.

Angenommen es seien im Ganzen n Atome in demselben Raume vorhanden, und von diesen sei bereits die Hälfte durch Anstoss in Bewegung gerathen, während die andere Hälfte ruht.

Wenn man sich das soeben Erklärte gegenwärtig hält, so wird man leicht einsehen, dass es jetzt nur noch der Dauer eines Zusammenstosses bedarf, um auch die andere Hälfte der Atome in Bewegung zu versetzen. *)

---

*) Es gilt dieses eigentlich nur unter der Voraussetzung, dass jedes in Bewegung begriffene Atom während dieser Zeit mit einem noch ruhenden zusammentrifft, was strenge genommen nicht der Fall sein wird, indem die Wahrscheinlichkeit hiefür nur $\frac{1}{2}$ ist. Dieser Umstand aber, welcher nur auf die Zeitdauer und nicht auf die Bewegungsfortpflanzung einen wesentlichen Einfluss übt, wurde hier, der Uebersicht halber, nicht berücksichtiget; denn der Rest der allenfalls noch ruhend verbleibenden Atome wird dann in dem nächsten Momente von den übrigen $\frac{3}{4}$ n Atomen desto wahrscheinlicher in Bewegung versetzt werden.

Digitized by Google

Nun bilden aber die bereits nach allen Richtungen hin sich bewegenden Atome eine Art von *Gas* (s. §. 9), in welchem sich die übrigen, *ruhenden* Atome zerstreut vorfinden. Diese letzteren werden im allgemeinen ebenfalls nicht regelmässig vertheilt sein, sondern stellenweise in *grösserer*, stellenweise in *geringerer* Menge vorkommen.

Sobald man aber dieses zugibt, so hat man auch zu erwarten, dass sich jene eigenthümlichen Erscheinungen einstellen werden, welche schon früher aus den Eigenschaften der Gase hergeleitet worden sind. Es wird an jenen Orten, wo die ruhenden Atome eine dichtere *Gruppe* bilden, das zwischen denselben befindliche Atomengas eine *geringere Spannkraft* erhalten als ausserhalb derselben, und die *Spannungsdifferenz zwischen dem äusseren* (stärkeren) *und dem inneren* (schwächeren) *Drucke muss ein allmähliches Zusammendrängen der Moleculargruppe zu einem dichteren Körper bewirken.* (Siehe S. 38 und S. 54.)

Die auf diese Art entstandenen *neuen Aggregate* müssen die Eigenschaften eines *flüssigen* Körpers erhalten, weil deren Bestandtheile im Innern noch frei beweglich bleiben, und sie müssen in dem sie umgebenden Gase die *Kugel- oder Tropfenform* annehmen. (S. Seite 27.)

Wir sind auf diese Art dazu gelangt, vermöge der Bewegung allein die *Bildung neuer grösserer Aggregate erklären zu können, die wir „Molecüle" nennen wollen.*

Die Grösse dieser Aggregate dürfte anfänglich keine bedeutende gewesen sein; denn es wurde schon an einem früheren Orte (Seite 7) ausgerechnet, dass man unter einer Million kleiner Raumtheile, welche zusammen ebensoviele zufällig vertheilte Atome enthalten, höchstens *einen* Raumtheil finden dürfte, der 9 Atome enthält. Wenn man dieselbe Rechnung in ähnlicher Weise auf eine noch grössere Anzahl von Raumtheilen ausdehnt, so ergibt sich, dass selbst dann, wenn in einem Raume von 2 Billionen Cubikmeilen eine Septillion (10^{42}) von Atomen enthalten wäre, wahrscheinlicher Weise *nur an einem einzigen Orte* eine *Gruppe von 36 Atomen* (in demselben Raumtheile auf welchem durchschnittlich nur *ein* Atom entfällt) vorkommen dürfte.

Digitized by Google

Man kann daher selbst dann, wenn man auch die freien Atome des im Innern verdichteten Gases mitrechnet, nur erwarten, dass in einem solchen Molecüle höchstens einige Hundert Atome sich vereinigen konnten.

Damit ist aber die Entwickelung der Molecüle noch nicht als abgeschlossen zu betrachten; denn die mit einer gewissen Geschwindigkeit durch den Raum ziehenden Molecüle mussten offenbar auch untereinander zusammenstossen, und konnten sich, solange sie flüssig waren, je zwei und zwei zu einem grösseren Molecüle vereinigen.

Diese Art der Vergrösserung musste allerdings bald eine Grenze erreichen, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Weil die Zahl der Zusammenstösse in demselben Masse abnimmt, als die Molecüle an Grösse zunehmen; denn durch das Zusammenfliessen je zweier Molecüle wird nicht nur die Zahl der Letzteren immer geringer, sondern es vermindert sich, wie bald gezeigt werden wird, auch ihre Eigengeschwindigkeit. (Den Beweis hiefür siehe im Anhange, 3.)

2. Weil sich mit der Zeit eine Erstarrung der Molecüle einstellen musste, von welchem Momente an sie, ähnlich den festen Körpern, nach dem Zusammenstosse wie elastische Kugeln auseinanderprallten.

Mit dem Festwerden der Molecüle musste also auch der Abschluss für die Vergrösserung derselben eintreten, und wenn wir den soeben beschriebenen Entwicklungsgang überblicken, so können wir zu dem Schlusse gelangen, dass die Molecüle an Masse die Atome bedeutend (vielleicht Billionenmal) überragen müssen, dass sie aber, bei einer bestimmten Grenze angelangt, einer weiteren Vergrösserung nicht fähig sind.

§. 16. **Beschaffenheit der Molecüle.** Die aus dieser Theorie abgeleiteten Resultate berechtigen uns ferner den Molecülen folgende Eigenschaften zuzuschreiben:

Die Molecüle bestehen aus zwei Gattungen von Atomen: 1. Aus gebundenen Atomen, welche als eigentliche Bestandtheile des Molecüles gelten können, und von deren Grösse und Dichte auch die Beschaffenheit des Molecüles abhängt. 2. Aus freien Atomen, welche nur durch Reflexion in das Innere ein-

Digitized by Google

dringen, daselbst ein verdichtetes Gas bilden, und nachdem sie das Molecül durchschritten haben, wieder als freie Atome austreten.

Wären alle Atome gleich, so könnten sich auch die aus ihnen entstehenden Molecüle nur etwa so wie verschiedene Wassertropfen durch die Grösse, respective durch die Zahl der in ihnen enthaltenen Atome unterscheiden.

Wir haben aber Grund genug zu vermuthen, dass die Atome nicht alle von gleicher Grösse und Dichte sind; denn die bisher aus den Beobachtungen der Natur geschöpften Erfahrungen sprechen dafür, dass Körper (oder überhaupt Ereignisse) welche unter denselben Verhältnissen und aus denselben Ursachen entstehen, stets innerhalb gewisser Grenzen verschieden sind. Es basiren ja auch die Grundsätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung darauf, dass man niemals eine constante, auf alle Objecte, und unter allen Umständen völlig gleich einwirkende Ursache voraussetzen kann, sondern annehmen muss, jede Ursache bestehe aus mehreren constanten Theilursachen, und es werde das betrachtete Ereigniss nur durch das Zusammentreffen einer grösseren oder geringeren Anzahl dieser Theilursachen hervorgebracht.

Wenn wir uns auf gleiche Art auch die Atome durch eine gewisse Anzahl (uns allerdings ganz unbekannter) Ursachen hervorgebracht denken, so müssen wir auch folgerichtig annehmen, dass diese Theilursachen im Raume eine ähnliche, ungleichmässige Vertheilung hatten, wie sie aus der gleichen Wahrscheinlichkeit für alle Orte des Raumes abgeleitet werden kann. Wir müssen ferner annehmen, dass dort wo mehrere, die Bildung der Atome begünstigende Theilursachen zusammentrafen, die Atome auch etwas grösser oder dichter, dort wo das Entgegengesetzte der Fall war, etwas kleiner ausgefallen sind.

Es mussten also, nach dieser Vorstellungsweise, gewisse Orte im Raume mit grösseren, andere mit kleineren Atomen ausgefüllt gewesen sein, und es gilt dann für jeden einzelnen Ort für sich betrachtet das, was früher bezüglich der Bewegungs-Fortpflanzung zwischen gleichen Atomen im allgemeinen gesagt worden ist.

Es folgt aus derselben Erklärung ferner, dass ein Molecül in der Regel aus Atomen gleicher Grösse bestehen kann; denn

Digitized by Google

sobald an einem Orte jene Theilursachen vorhanden waren, welche den Atomen eine bestimmte Grösse ertheilen konnten, so waren diese Ursachen gewiss auch für alle Atome in gleicher Weise vorhanden. An anderen Orten, wo z. B. einzelne dieser Ursachen fehlten, mussten zwar wieder alle Atome gleich, doch sämmtlich von anderer (geringerer) Grösse ausgefallen sein.

§. 17. **Eigenbewegung der Molecüle.** Wir sehen ferner aus dieser Erklärung, dass die Atome in einem Molecüle von dem Momente ihrer Vereinigung an ein einziges Sistem bildeten, in welchem jedes einzelne Theilchen seine Eigenbewegung jener des ganzen Sistemes bis zu einem gewissen Grade unterordnen musste.

Wir haben uns demnach jedes entstehende Molecül als ein Sistem materieller Punkte vorzustellen, an welchen Kräfte nach verschiedenen Richtungen wirken.

Nun lässt sich bekanntlich jede an einem Punkte wirkende Kraft in eine andere parallele und gleiche Kraft, und in ein Kräftepaar zerlegen. Denken wir uns diese Zerlegung auch mit allen Momentankräften, welche an den zu einem Molecüle vereinigten Atomen wirken vorgenommen, und wählen den Schwerpunkt als gemeinschaftlichen Angriffspunkt, so erhalten wir einerseits am Schwerpunkte ebensoviele, nach verschiedenen Richtungen gerichtete Kräfte, welche im allgemeinen eine Resultirende haben müssen, von der die Grösse und Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung des Molecüles abhängen wird; anderseits aber erhalten wir ebensoviele Kräftepaare als Atome vorhanden sind, welche, zu einem resultirenden Kräftepaare zusammengelegt, die Grösse der rotirenden Bewegung des Molecüles bestimmen werden.

Hieraus geht hervor, dass jedes auf die beschriebene Art entstehende Molecül eine zweifache Eigenbewegung besitzen muss, eine fortschreitende und eine rotirende Bewegung.

Nachdem die letztere für die folgenden Schlüsse von untergeordneter Bedeutung ist so mag es genügen, wenn wir hier nur die Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung näher betrachten.

Wenn man nämlich die oben erwähnte Resultirende der durch den Schwerpunkt nach verschiedenen Richtungen gerichteten Momentankräfte der Atome durch Rechnung ermittelt, (siehe im Anhange, 2.) so ergibt sich der bemerkenswerthe Satz, dass in dem

Digitized by Google

Momente der Vereinigung die lebendige Kraft eines Molecüles gleich wird der lebendigen Kraft eines Atomes, so dass auf diese Art alle Molecüle gleiche lebendige Kraft erhalten.

Bezeichnen also m und M die Massen c und C die Geschwindigkeiten der Atome und des Molecüles, so besteht die Gleichung:

$$mc^2 = MC^2$$

Dieser bemerkenswerthe Satz, von welchem wir in der Folge noch manchen Gebrauch machen werden, steht auch mit der neueren Theorie der Gase in gutem Einklange.

§. 18. **Bildung der Weltkörper.** Wir sind nun in der Entwicklungsgeschichte des Weltensistemes bei jener Periode angelangt von welcher an die Bildung der Weltkörper datirt.

Der gesammte Raum enthielt zu jener Zeit nur zwei Formen der Materie: freie Atome und freie Molecüle. Erstere bildeten in ihrer allgemeinen Bewegung eine Art von Gas, in welchem sich die Letzteren mit einer bedeutend geringeren Eigengeschwindigkeit nach allen Richtungen des Raumes bewegen konnten.

Atome und Molecüle mussten nun aufeinander gewisse Rückwirkungen ausüben, unter Erscheinungen, die bereits früher (im ersten Abschnitte) als Wirkungen der in allgemeiner Bewegung begriffenen Atome auf grössere Massen (Molecüle) beschrieben worden sind, und die hier kurz wiederholt werden sollen:

Die Bewegung der Molecüle wurde zunächst durch die ein widerstehendes Mittel bildenden Atome verzögert, wobei gleichzeitig die den Ersteren entzogene lebendige Kraft auf die Atome übertragen worden ist.

Die Geschwindigkeit der Atome nahm daher immer zu, jene der Molecüle immer ab. Sobald aber diese der ersteren gegenüber verschwindend klein geworden ist, so musste die zwischen den Molecülen entstandene Bewegungs-Verzögerung der Atome in den Vordergrund treten, und die Ursache einer gegenseitigen Annäherung der Molecüle werden.

Es ist selbstverständlich, dass diese Annäherung zunächst an jenen Orten beginnen musste, an welchen die Molecüle zufälliger Weise schon vorher eine dichtere Gruppe gebildet hatten, indem hier die Spannungsdifferenz zwischen dem inneren und äusseren

Digitized by Google

Gasdrucke auch am stärksten hervortrat. Die Molecüle einer solchen Gruppe wurden dann mit beschleunigter Bewegung gegen das Innere so lange getrieben, bis ihre lebendige Kraft im Vereine mit der Spannung des sich im Innern gleichzeitig verdichtenden Atomengases im Stande war dem äusseren Drucke des Letzteren das Gleichgewicht zu halten.

Die Weltkörper entstanden daher aus den Molecülen genau in derselben Weise, wie z. B. die Tropfen einer Flüssigkeit aus dem betreffenden Dampfe; denn die auf Seite 38 gegebene Erklärung für die Condensation der Dämpfe ist mit der eben vorgeführten Erklärungsart der Körperbildung identisch.

Diese neu entstandenen Körper mussten anfänglich ebenfalls verhältnissmässig klein gewesen sein, und konnten sich erst durch allmähliches Zusammenfliessen bei ihren Begegnungen vergrössert haben. Es sprechen hiefür dieselben Gründe, die in §. 17 bei der Molecularbildung angeführt worden sind. Nur darf nicht übersehen werden, dass bei der Vergrösserung der Weltkörper auch noch ein anderer Einfluss in den Vordergrund trat, welcher das Anwachsen der Letzteren wesentlich begünstigte.

Es ist nämlich bekannt, (und soll später noch ausführlicher besprochen werden) dass alle Körper einem Einflusse unterliegen den wir allgemeine Schwere nennen, und der sich ebenfalls als eine Wirkung des Atomengases auf grössere Massen darstellt.

Diese Wirkung nimmt proportional mit der Masse der Weltkörper zu. War also an irgend einem Orte schon an und für sich eine grössere Menge von Molecülen beisammen, so musste zu jenem Orte auch noch eine grössere Zahl anderer, in weiterer Entfernung stehender Körperchen hinzugedrängt, oder — wie wir zu sagen pflegen — hingezogen worden sein. Die Weltkörper konnten sich demnach ihrer Masse proportional stetig vergrössern.

Es erklären sich hieraus die auffallenden Grössenunterschiede der mannigfaltigen Arten von Weltkörpern, von den kleinen, oft kaum wahrnehmbaren Sternschnuppen angefangen, bis zu den ungeheueren Planeten und Fixsternen.

Das Anwachsen der grösseren Himmelskörper musste ferner, wie man auch leicht einsehen wird, in der Art vor sich gehen, dass sich anfänglich nur die zunächstliegenden Molecüle, welche

Digitized by Google

sehr wahrscheinlich von gleicher Beschaffenheit waren, zu einer Masse vereinigt hatten: erst später konnten auch Körper aus grösseren Entfernungen herbeigezogen werden, aus Räumen, in denen Atome und Molecüle eine andere Grösse und Dichte besassen daher sie auch Körper von anderer Beschaffenheit gebildet hatten.

Langten diese fremden Körper zu einer Zeit an, in welcher der Hauptkörper noch flüssig war, so mussten sie sich in demselben ihrer specifischen Dichte entsprechend einlagern. Kamen sie aber zu einer Zeit an, als derselbe bereits zu erstarren anfing, so konnten sie die äussere starre Kruste nur theilweise oder auch gar nicht durchbrechen, und mussten daher an der Oberfläche verbleiben.

Daher mag es kommen, dass wir an der Oberfläche der Erde, oder in geringen Tiefen, die verschiedenartigsten Körper, oft von bedeutend grösserer Dichte als jene des Erdkörpers, beisammenfinden. In dieser Weise vergrössert sich unsere Erde auch heute noch, wenn auch äusserst langsam, durch herabfallende Meteoriten, und die Masse der auf die Sonne stürzenden Meteore ist jedenfalls noch bedeutend grösser.

Es bleibt uns nun noch die Frage zu erörtern, wie es möglich wurde, dass sich auch Gase an der Erdoberfläche ansammeln, und das was wir „Atmosphäre“ nennen, bilden konnten.

Auch hierüber vermag uns diese Theorie einen Aufschluss zu geben.

Wir müssen nämlich, um consequent zu bleiben, auch die aus Molecülen gebildeten Gase, wie z. B. den Sauerstoff, Stickstoff, u. s. w. in ihren Beziehungen zu dem aus Atomen bestehenden, den Weltraum erfüllenden Gase, als tropfbare Flüssigkeiten betrachten; denn flüssige Körper sind ja, der in §. 9 entwickelten Definition nach, nichts anderes als Gase, deren Molecüle durch den Druck eines sie umgebenden, specifisch leichteren Gases, zu einem einzigen Körper vereiniget sind.

Es gilt also alles das, was früher von der Annäherung der Molecüle und von deren Vereinigung zu einem einzigen Weltkörper im allgemeinen gesagt worden ist, auch von den Luftmolecülen, die sich, dieser Theorie nach, von den Molecülen aller übrigen flüssigen und festen Körper nur durch ihre geringeren Masse

Digitized by Google

und grössere Geschwindigkeit unterscheiden, daher sie auch einen flüssigen Körper von geringerer Dichte bilden.

Die Erdatmosphäre konnte also auf ganz gleiche Art entstanden sein, wie der übrige Theil der Erde. Die Luft, oder deren Bestandtheile (Sauerstoff und Stickstoff) mochten ursprünglich für sich bestehende runde, flüssige Weltkörper gebildet haben, welche erst bei ihrer Annäherung gegen die Erde von der Letzteren angezogen, worden sind, und sich, ihrer specifischen Dichte entsprechend, an der Oberfläche derselben gelagert hatten.

Die Auffassung der Atmosphäre als eine Art von tropfbarer Flüssigkeit dürfte vielleicht auf den ersten Blick etwas sonderbar erscheinen, weshalb es gerathen ist, die Richtigkeit dieser Ansicht zu prüfen.

Wenn die Atmosphäre dem Atomengase gegenüber einen tropfbar flüssigen Körper vorstellt, so muss sie offenbar auch die Eigenschaften des Letzteren besitzen, und dieses ist in der That auch der Fall. — Sowohl aus der neuesten, allgemein acceptirten Molecular-Theorie der Gase, als auch aus den hier zu Grunde gelegten Anschauungen geht hervor, dass die atmosphärische Luft aus kleinen Körperchen (Molecülen) besteht, welche in verhältnissmässig grossen Entfernungen auseinanderstehen, und sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 485 Meter per Secunde im Raume fortbewegen.

Wenn aber ein Körper mit einer Geschwindigkeit von 485 Meter von der Erdoberfläche in die Höhe geworfen wird, so kann er sich, selbst wenn er lothrecht aufstiege, nur bis zu einer Höhe von 12000 Metern erheben, und müsste dann infolge der Schwere, wieder zur Erde herabfallen.

Etwas ähnliches muss auch bei den Luftmolecülen stattfinden; auch diese können sich je nach dem Elevationswinkel ihrer Bewegungsrichtung, nur bis zu einer bestimmten Höhe über die Erdoberfläche erheben, und müssen dann wieder herabfallen. Nur können die Molecüle weil sie unter allen möglichen Neigungswinkeln ziehend, auch untereinander zusammenstossen, und dadurch ihre verschiedenen Geschwindigkeiten in jeder Schichte ausgleichen, eine nahezu dreimal grössere Höhe erreichen, als dieses bei einem einzigen Molecüle der Fall wäre.

Digitized by Google

Die Bewegung der Molecüle in unserer Atmosphäre geschieht demnach genau in derselben Weise, wie in einer tropfbaren Flüssigkeit. — Man vergleiche nur, um sich hievon zu überzeugen, die auf Seite 27 gegebene Erklärung, und die in Fig. 3 durch Zeichnung dargestellte Molecularbewegung in Flüssigkeiten.

Durch diese Auffassungsweise der Atmosphäre wäre man auch im Stande, die Temperaturabnahme mit zunehmender Höhe zu erklären, so wie auch manche Frage über die Beschaffenheit der Atmosphäre zu beantworten. Es würde aber zu weit vom Ziele abseits führen, wollte man auch diese Nebenumstände hier zur Sprache bringen.

§. 19. **Allgemeine Erstarrung der Weltkörper.** Es kann als ein günstiges, und insbesondere für die wissenschaftliche Verwendbarkeit dieser Theorie sprechendes Moment angesehen werden, dass dieselbe im Stande ist, uns nebst der Entstehungsart der Molecüle und Weltkörper auch den Aggregatszustand derselben anzugeben.

Dass sämmtliche Weltkörper ursprünglich tropfbar flüssig gewesen sein mussten, und dass sie erst in späterer Zeit in den festen Zustand übergegangen sind, lässt sich schon aus der kugelförmigen Gestalt derselben entnehmen, und stimmt auch in mancher anderen Hinsicht mit unserer bisherigen Naturanschauung überein; warum dieses aber gerade so kommen musste, dafür haben wir noch keinen genügenden Grund gefunden.

Hier jedoch erklärt sich die Sache so zu sagen von selbst.

Alle Molecüle und Weltkörper erscheinen schon vermöge ihrer früher beschriebenen Entstehungsweise als Aggregate, welche durch den Druck des sie umgebenden Atomengases zu einer Flüssigkeit verdichtet worden sind, und die in Folge des allseitig gleichen Gasdruckes, die Kugel- oder Tropfenform annehmen mussten. Sie konnten unmöglich allsogleich einen starren Körper gebildet haben, indem ihre ursprünglich in grösserer Entfernung auseinanderstehenden Bestandtheile in fortschreitender Bewegung einander genähert worden sind, und daher ihre Bewegung nicht plötzlich unterbrechen konnten.

Nachdem aber, wie früher nachgewiesen wurde, (§. 12, S. 54) mit der Annäherung der Molecüle gleichzeitig eine Verdichtung des zwischen derselben eingedrungenen Atomengases

Digitized by Google

verbunden sein musste, so hatten die Molecüle im Innern des Körpers einen bedeutend grösseren Widerstand der Bewegung zu überwinden, als früher. Ihre Bewegung musste daher allmählig verzögert werden, ihre lebendige Kraft abnehmen und das um so schneller, je dichter das Atomengas im Inneren des Körpers angesammelt war, und in je geringerem Verhältnisse die Masse des Molecüles zu dessen Oberfläche stand. (Siehe Formel 6.)

Die lebendige Kraft der Molecüle eines Körpers stellt aber die freie Wärme desselben vor (§. 27) und es musste sich demnach diese Abnahme an lebendiger Kraft der Molecüle durch eine Temperaturerniedrigung äussern.

Die Geschwindigkeitsabnahme der Molecüle eines flüssigen Körpers hat aber, wie auch schon an einem früheren Orte erklärt worden ist, gleichzeitig die Erstarrung des Körpers zur Folge, welche mit dem Momente eintritt, als die fortschreitende Bewegung sich in eine um die Ruhelage schwingende Bewegung verwandelt.

Die Temperaturabnahme und die mit ihr gleichen Schritt haltende Erstarrung der Weltkörper, erscheinen hiernach in dieser Theorie der Bewegung vollkommen begründet.

Nachträglich sei hier noch bemerkt, dass das, was hier im allgemeinen von Körpern gesagt worden ist, auch für die Molecüle selbst gelten musste, die wir ja in ganz ähnlicher Weise als Aggregate von gebundenen Atomen betrachten, welche durch den Druck des sie umgebenden Atomengases zusammengehalten werden.

Nachdem aber die Molecüle offenbar viel dichter sein müssen als die Weltkörper, und das zwischen denselben befindliche Weltgas auch in bedeutend stärkerem Masse verdichtet sein muss, so ist anzunehmen dass sie auch viel früher erstarrten.

§. 20. **Sonnen- und Planetensisteme.** Ich habe in dem Vorhergehenden nur jene Erscheinungen aufgezählt, welche sich unter allen Umständen und bei allen Körpern einstellen mussten. Es bliebe aber noch eine Unzahl anderer Wirkungen zu besprechen übrig, welche die verschiedenen Theile der bewegten Materie auf einander ausüben mussten, oder doch ausüben konnten.

Eine solche allgemeine Wirkung der kleinsten Theile der Materie auf grössere Massen, die aber erst in dem folgenden Ab-

Digitized by Google

schnitte ausführlicher behandelt werden kann, ist die allgemeine Gravitation oder Schwere.

Die Gravitation war es, welche die Weltkörper einander zu nähern strebte, und dieselben in Bewegung versetzt hat. Diese Bewegung, welche wieder die Ursache der Bildung von Sonnen- und Planetensistemen wurde, konnte dann allerdings nicht mehr so einfacher Natur sein, und war vielfach von der zufälligen Gruppirung der Masse im Raume abhängig: denn es kann als gewiss angenommen werden, und jeder Blick auf den Sternenhimmel belehrt uns darüber, dass nicht alle Sonnensisteme dem unseren gleichen. Wir sehen ja Sisteme mit zwei (und mehreren) sich um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt drehenden Sonnen (Doppelsterne), und es gibt sogar Gruppen, die aus Millionen von sonnenartigen Körpern bestehen. (Nebelflecke.)

Wenn wir also speciell die Entstehungsgeschichte jenes Sonnen- und Planetensistemes entwickeln wollten, dem unsere Erde angehört, so müssten wir vor allem eine besondere, gerade diese Art von Planetensistem begünstigende Gruppirung der Materie an einem Orte des Weltraumes voraussetzen.

Eine solche specielle Entwicklungsgeschichte eines einzigen Planetensistemes zu schreiben war aber nicht der Zweck dieser Zeilen.

Es hat sich hier nur darum gehandelt, die Wirkungen der Bewegung im allgemeinen zu studieren, um zu ermitteln, ob man die Letztere in der That als Entstehungsursache der verschiedenartigen materiellen Gebilde betrachten könne. Die betreffende Discussion hat auch ein ganz befriedigendes Resultat geliefert.

Wir haben gesehen, dass ein den ruhenden Atomen ertheilter Stoss dieselben zunächst in allgemeine Bewegung versetzen musste, und dass diese Bewegung wieder die Veranlassung zur Bildung grösserer Aggregate, der Molecüle, und später der Weltkörper bot. Wir erfuhren endlich, dass die im Raume frei gebliebenen, in allgemeiner Bewegung begriffenen Atome, eine Art von Gas gebildet hatten, welches die Atome und Molecüle der bezeichneten Aggregate zu einem Ganzen vereint zusammenhielt.

Dieses Resultat ist in doppelter Hinsicht bemerkenswerth; denn nicht genug daran dass wir uns mit Hilfe dieser Theorie einen Begriff von der Entstehung der Molecüle und Weltkörper bilden

Digitized by Google

konnten, ohne hiezu irgend welcher Anziehungs- und Abstossungskräfte zu benöthigen, erfuhren wir gleichzeitig auch, dass die Molecüle aus ihren Atomen in ganz ähnlicher Art zusammengesetzt sind, wie die Körper aus den Molecülen.

§. 21. **Grenzen des Weltraumes.** Ehe wir weiter daran gehen, diese Resultate zu verwerthen, sei es noch gestattet, dieser Theorie folgende Frage vorzulegen:

„Sind wir berechtiget den Weltraum als unbegrenzt, also unendlich gross zu betrachten, oder müssen wir annehmen, dass jener Theil des Weltraumes in welchem sich Erde, Sonne und die zahllosen Sterne befinden, eine bestimmte unveränderliche Grenze habe?"

Um diese gewiss interessante Frage beantworten zu können, gehe man zunächst von der Annahme aus, es befinde sich in einem unbegrenzten Raume eine begrenzte materielle Wolke (ein Nebelfleck). Diese Wolke, die wir uns kugelförmig denken wollen, bestehe aus Atomen, Molecülen und Weltkörpern, welche sich in der früher beschriebenen Weise bewegen.

An dieser Wolke müssen sich stete Veränderungen zeigen; denn die an der äusseren Grenze liegenden, in allgemeiner Bewegung begriffenen Atome, werden ihre Bewegung nach aussen hin in den leeren Raum unbehindert fortsetzen können, und sich immer mehr und mehr ausbreiten. Dadurch aber gewinnen allmählig auch die im Inneren liegenden Atome an Spielraum, so dass sich nach und nach das aus denselben gebildete Gas ausdehnt, und an Dichte und Spannkraft verliert.

Die Spannkraft dieses Gases hält aber, wie wir gesehen haben, die Atome im Molecüle, und die Molecüle im Körper zu einem Ganzen vereiniget. Von ihr hängt ferner auch, wie später nachgewiesen werden wird, die Grösse der allgemeinen Gravitation der Himmelskörper ab.

Hätte also die gesammte Sternenwelt, als eine solche materielle Wolke betrachtet, eine verhältnissmässig geringe Ausdehnung, so müssten wir bald die Folgen der allgemeinen Dichteabnahme des Atomgases fühlen. Die Planeten und Kometen würden sich von der Sonne entfernen, das Gewicht sämmtlicher Körper auf der Erde müsste sich allmählig vermindern, und endlich würden auch die

Digitized by Google

Lufttheilchen von der Erdoberfläche losgerissen, und diesen dann die flüssigen und festen Körper bald nachfolgen.

Von einer solchen allgemeinen Auflösung ist aber bis heute noch keine Spur wahrgenommen worden, wesshalb wir annehmen müssen, dass jene materielle Wolke in welcher wir uns befinden, keine so geringe Ausdehnung haben kann.

Wir können sogar mit Hilfe dieser Theorie der Weltbildung den Grenzwerth des Durchmessers einer solchen materiellen Wolke berechnen, bei welchem die Dichte d der Atomenmaterie (des Weltgases) sich während eines Zeitraumes T um die Grösse δ vermindert. Bezeichnen wir nämlich mit R den Radius der kugelförmig gedachten Wolke, und mit c die Geschwindigkeit der Atome, so ist:

$$\frac{\delta}{d} = \frac{c\,T}{R}$$

Dabei wurde angenommen, dass sich die materielle Wolke gleichmässig ausbreitet, und dass die Zunahme des Halbmessers nur dem dritten Theile der Atomgeschwindigkeit proportional ist.

Wenn man die Atomgeschwindigkeit c auf 63000 geogr. Meilen schätzt (s. §. 22) und annimmt, dass eine Dichteabnahme des Atomengases um $\frac{1}{1000}$ während eines Zeitraumes von 1000 Jahren, kaum wahrgenommen werden könnte; so erhält man aus der obigen Formel das bemerkenswerthe Resultat, dass man den Halbmesser des mit Materie erfüllten Weltraumes auf mindestens 2 Trillionen geogr. Meilen veranschlagen müsse.

Auch dieses Resultat steht mit der Wirklichkeit in keinem Widerspruche; denn es gibt bekanntlich Nebelflecke, welche selbst mit sehr stark vergrössernden Fernröhren nicht in einzelne Sterne aufgelöst werden können. Wenn also die Fixsterne aus denen sie bestehen, eine mittlere Entfernung von 4 Billionen geogr. Meilen (= einer Sternweite) besitzen, so müssen solche Sternengruppen mehrere Trillionen Meilen weit entfernt sein, damit sie uns als ein unauflösbarer Nebel erscheinen können.

Wir sind daher, auf Grund dieser Anschauungsweise vollkommen berechtiget, uns jene Sternenwelt in welcher sich unsere Erde befindet, als eine im unendlichen Raume schwebende, durch nichts begrenzte materielle Wolke zu denken, sofern wir nur voraus-

Digitized by Google

setzen, dass der Halbmesser dieser Wolke mehr als 2 Trillionen Meilen beträgt.

Ob nun der unendlich gross gedachte Raum noch mehrere solche wolkenartige Welten enthält, welche in gewissen, durch leere Räume getrennten Abständen vorkommen, oder ob der gesammte Raum ohne Unterbrechung gleichmässig mit Materie erfüllt ist, vermag wohl Niemand zu sagen; doch sind beide Fälle möglich und mit der Theorie vereinbar.

Diese Excursion auf eines der abstractesten Gebiete der Naturbetrachtung wurde hier nur aus dem Grunde unternommen, um darzuthun, dass diese Theorie mit der Natur auch dann in keinen Widerspruch geräth, wenn man sie bis an die äussersten Grenzen ihres Wirkungskreises verfolgt.

Digitized by Google

IV.

Das Weltgas.

Ich habe schon im I. Abschnitte dieser Abhandlung darauf hingewiesen, dass gewisse allgemeine Eigenschaften der Körper auf das Vorhandensein einer besonderen, den gesammten Raum in einer äusserst feinen Vertheilung durchziehenden Materie schliessen lassen. Die Eigenschaften dieses mit dem Namen Weltgas bezeichneten Stoffes wurden in §. 8 durch Vorführung einiger Zahlen beiläufig charakterisirt.

Das Bestreben aber, die Aufstellung neuer Hypothesen zu vermeiden, liess es dort nicht zu, auf das Wesen dieses Gases näher einzugehen. Ich gieng überhaupt von der Ansicht aus, dass das Vorhandensein eines derartigen Stoffes, sobald derselbe wirklich zu der übrigen Materie gehört, aus dieser Theorie der allgemeinen Bewegung selbst nachweisbar sein müsse, widrigenfalls man die Letztere noch nicht als die richtige Grundlage der Naturlehre betrachten kann.

Diese Erwartung hat sich vollkommen bestätiget; denn die soeben vorgetragene Entstehungsgeschichte der Weltkörper lieferte das Resultat, dass die in einem Sisteme freier, ruhender Atome erregte Bewegung nicht nur im Stande war grössere Aggregate der Materie (Molecüle und Körper) zu bilden, sondern dass auch noch freie Atome im Raume zurückbleiben mussten, welche, in allgemeiner Bewegung begriffen, jenes äusserst feine Gas gebildet hatten, das oben mit dem Namen Weltgas bezeichnet worden ist.

Dass die gesammte Natur nebst den gewöhnlichen bekannten Formen der Materie auch noch einen äusserst feinen Stoff enthalten müsse, der dieselbe beherrscht und bewegt, steht auch mit Rücksicht auf den gegenwärtigen Standpunkt der Physik ausser Zweifel

Digitized by Google

Ich brauche dabei nur an die allgemein übliche Erklärung der Licht- und Wärmeerscheinungen zu erinnern, die zur Annahme des Aethers, dann an die Erklärung der Elektricität, welche zur Annahme eines eigenen elektrischen Fluidums führte. Nur hatte man sich diese Stoffe immer als unwägbar (imponderabel) gedacht, während hier zur Erklärung aller Naturerscheinungen, wie man sich später überzeugen wird, schon ein einziger, der übrigen Materie gleicher, also wägbarer Stoff ausreicht.

Dieser Stoff übernimmt wie wir bald sehen werden die Rolle aller Anziehungs- und Abstossungskräfte, er bildet jenes Medium, welches unter dem Namen „Aether“ zur Fortpflanzung der Licht- und Wärmestrahlen hypothetisch angenommen wurde, und er ist auch im Stande jene Erscheinungen hervorzurufen, die wir einem eigenen elektrischen Fluidum zuzuschreiben pflegen.

§. 22. **Eigenschaften des Weltgases.** Es kann als ein Vorzug dieser auf rein mechanischen Principien ruhenden Bewegungstheorie gelten, dass sie uns stets die zur Wägung, Messung und Berechnung erforderlichen Daten liefert, und uns so in den Stand setzt, die theoretisch gewonnenen Resultate mit der Beobachtung zu vergleichen.

Wie schon bemerkt wurde, bilden die in allgemeiner Bewegung begriffenen freien Atome der Materie eine Art von Gas, und es handelt sich nun darum, die Eigenschaften des Letzteren zu ermitteln.

Die Eigenschaften eines Gases sind aber der Hauptsache nach bestimmt, wenn man die specifische Dichte desselben, und die Geschwindigkeit seiner Atome kennt.

Beide Daten lassen sich auf folgende Weise ermitteln:

Einen verlässlichen Anhaltspunkt zur Berechnung der Atomgeschwindigkeit liefert der Umstand, dass das Weltgas gleichzeitig die Fortpflanzung des Lichtes durch den Weltraum vermittelt. In welcher Weise dieses geschieht kann wohl erst im nächsten Abschnitte erklärt werden; es sei hier vorläufig nur erwähnt, dass sich bei wellenförmigen Bewegungen in Gasen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung zur Atomgeschwindigkeit in der Regel wie 2 : 3 verhält. (Siehe den Beweis im Anhange, 6.)

Nachdem sich aber das Licht mit einer Geschwindigkeit von 42000 geogr. Meilen durch den Weltraum fortpflanzt, so werden wir zur Annahme gedrängt, dass sich die Weltgasatome mit einer

Digitized by Google

Geschwindigkeit von 63000 geogr. Meilen per Secunde fortbewegen müssen.

Einen Anhaltspunkt für die Beurtheilung der Dichte des Weltgases erhalten wir aus der bekannten Thatsache, dass die den Weltraum durchziehenden Planeten und Kometen eine kaum wahrnehmbare Verzögerung in ihrer Bewegung erfahren, wesshalb die Dichte des Weltgases eine äusserst geringe sein muss.

Es ist bekannt, dass die Bewegungsverzögerung eines Planeten in einem widerstehenden Mittel eine Verkürzung der Umlaufszeit bewirken muss, und man kann durch Rechnung nachweisen dass selbst dann, wenn man die Dichte des Weltgases nur 50 Millionenmal kleiner annehmen würde als jene der atmosphärischen Luft (bei 0° *C* und 760^{mm}), die Umlaufszeit unserer Erde sich höchstens um $\frac{1}{20}$ einer Secunde während eines Jahres verkürzen könnte. (Die Berechnung siehe im Anhange, 4.)

Behalten wir vorläufig diese Zahlen für die Dichte und die Atomgeschwindigkeit bei, so können wir mit deren Hilfe, vermittelst der von Clausius aufgestellten Formel (s. Seite 30) auch die Spannkraft dieses Gases berechnen. Es stellt sich dann heraus dass ein so beschaffenes Gas, dessen Dichte gleich $\frac{1}{5.10^7}$ der atmosph. Luft, und dessen Atomgeschwindigkeit $c = 63000$ geogr. Meilen beträgt, eine Spannkraft von:

19000 Atmosphären

besitzen muss. Dieses eigenthümliche Gas muss überdiess die Eigenschaft haben, alle Körper ohne Unterschied durchdringen zu können; es muss demnach in jedem Raume vorhanden sein.

Es lässt sich dieses schon aus dem Grunde erwarten, weil alle Körper aus Molecülen gebildet sind, welche insgesammt in beträchtlichen Entfernungen auseinanderstehen. Jedes freie Atom des Weltgases kann demnach durch fortwährende Reflexion von Molecül zu Molecül, in jeden Theil des Körpers gelangen, und kann den Letzteren auch nach irgend einer Richtung durchschreiten.

Man könnte demnach das Weltgas in folgender Weise definiren:

Die freien Atome der Materie bewegen sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von 63000 geogr.

Digitized by Google

Meilen nach allen Richtungen des Raumes und bilden in ihrer Gesammtheit ein Gas, dessen Dichte etwa 50,000,000 mal geringer und dessen Spannkraft 19000 mal grösser ist als jene der atmosphärischen Luft. Dieses Gas ist im Stande alle Körper und Molecüle zu durchdringen.

Diese ungewöhnlich grossen Zahlen könnten vielleicht so manchem auf den ersten Blick etwas unwahrscheinlich vorkommen, und das Bedenken hervorrufen, ob solche Annahmen in der Naturlehre auch zulässig seien. Diese Bedenken können leicht behoben werden.

Was die enorme Geschwindigkeit anbelangt, so braucht man sich nur zu erinnern, dass die betreffende Zahl der Beobachtung entnommen wurde; wenn man es bisher nicht bedenklich gefunden hat, dem Lichte eine Geschwindigkeit von 42000 geogr. Meilen p. S. zuzumuthen, so darf man auch nicht daran zweifeln, dass die Theilchen des die Fortpflanzung vermittelnden Stoffes (Aether oder Weltgas) eine ähnliche, theilweise noch grössere Geschwindigkeit haben müssen. Wir haben uns bisher wenig darum gekümmert wie diese Fortpflanzung geschieht; hier aber wird das der Beobachtung entnommene Factum erklärt, und der nebelhafte Aether, dem man je nach Bedürfniss bald diese bald jene Eigenschaft zugemuthet hat, erhält hier eine ganz bestimmt ausgesprochene Form.

Dass die Dichte dieses Gases eine äusserst geringe sein müsse, ist so zu sagen selbstverständlich, und bedarf kaum einer näheren Erörterung; dagegen dürfte der auffallende Contrast zwischen der grossen Atomgeschwindigkeit und der sehr geringen Dichte weniger glaublich erscheinen, obwohl auch dieser Contrast in der Theorie der Bewegung begründet ist.

Zunächst wird man es begreiflich finden, dass die einem Sisteme ruhender Atome durch einen Stoss ertheilte Bewegung gerade den kleinsten Atomen die grösste Geschwindigkeit verleiht. Soll aber in einem Cubikmeter des Gases eine 50 Millionenmal geringere Masse enthalten sein als in einem Cubikmeter Luft, so müssen auch die Atome viele Millionenmal kleiner sein als die Luftmolecüle. Wenn nun die Letzteren eine Geschwindigkeit von $C = 485^m = 0{\cdot}065$ geogr. M. besitzen, und ihre Masse (mit Rück-

Digitized by Google

sicht auf die in §. 17 beschriebene Entstehungsweise der Molecüle) z. B. Billionenmal grösser gedacht wird, als die Masse eines Atomes, so ergibt sich mit Hilfe der früher abgeleiteten Formel, (Seite 71)

$$M C^2 = m c^2$$

die Geschwindigkeit c der Atome;

$$c = 65000 \text{ geogr. Meilen.}$$

Wir sehen also dass auch dieser auffallende Contrast zwischen der Dichte und Atomgeschwindigkeit in der Theorie der Bewegung seine Begründung findet.

Was endlich die aus diesen Zahlen berechnete Spannkraft des Weltgases anbelangt, so steht auch diese mit der Beobachtung in keinem Widerspruche, und kann sogar als eine interessante Bestätigung für die Richtigkeit dieser Theorie gelten; denn es wurde im §. 12 nachgewiesen, dass es der Druck des Weltgases sei, der die Molecüle fester Körper zu einem Ganzen vereiniget.

Nachdem aber einzelne Körper eine ungewöhnlich grosse Widerstandsfähigkeit gegen Zug und Druck besitzen, so dass z. B. eine Stahlstange eine Belastung von 10000 Atmosphären zu ertragen vermag, so muss nothwendiger Weise der Druck des Weltgases eine noch viel grössere Zahl von Atmosphären betragen, weil man sonst nicht im Stande wäre die Cohäsion der Stahlmolecüle als eine Wirkung des Weltgasdruckes zu betrachten.

Würde sich im Gegentheile die Spannkraft des Letzteren als bedeutend kleiner herausgestellt haben, so könnte schon dieser Umstand allein hinreichen, um diese Theorie in Zweifel zu stellen.

So aber stimmen diese Zahlen sowohl mit der Theorie als auch mit der Naturbeobachtung ganz gut überein, und enthalten genau genommen nichts anderes, als das was man ohnehin schon vorher, zur Erklärung einzelner Naturerscheinungen anzunehmen genöthiget war.

§. 23. Wirkungen des Weltgases. Die allgemeine Gravitation.

Es dürfte wohl in dem gesammten Bereiche der Naturwissenschaften keine zweite Hypothese geben, welche sich bisher einer so ungetheilten Anerkennung zu erfreuen hatte, als die Erklärung der Schwere, durch Annahme einer allen materiellen Theilchen zukommenden Anziehungskraft.

Digitized by Google

Alle Erscheinungen, welche mit Hilfe dieser Hypothese erklärt worden sind, wie z. B. der freie Fall auf der Erde, die elliptische Bewegung der Planeten u. s. w. konnten mit solcher Präcision der Rechnung unterzogen werden, dass man weiter nicht daran dachte, an der Richtigkeit der Voraussetzung zu zweifeln. Mit der Annahme dieser Hypothese war aber die Frage noch nicht gelöst, warum diese Kraft mit dem Quadrate der Entfernung proportional abnimmt, und wie es komme, dass sie sowohl durch materielle Körper als auch durch leere Räume in gleicher Weise auf entfernte Objecte einzuwirken im Stande ist. Es blieb mit einem Worte das Wesen dieser Kraft uns ganz unbekannt, und wir hätten ebensogut sagen können: Jene Ursache, welche die Körper einander zu nähern strebt kennen wir nicht, wir wissen nur aus der Erfahrung, dass diese Annäherung der Masse der Körper proportional wächst, und mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt.

Wenn wir aber die Gravitation nicht einem Zuge sondern einem Drucke zuschreiben, so gelangen wir in die Lage auch das Wesen derselben zu erkennen.

Ich habe schon im §. 7 mathematisch nachgewiesen, dass die in allgemeiner Bewegung begriffenen Atome auf zwei oder mehrere grössere Körper jene Rückwirkung ausüben müssen, welche eine Annäherung der Körper bewirkt. Es konnte aber dort noch die Frage nicht entschieden werden, ob auch die allgemeine Schwere auf gleiche Art erklärt werden kann.

Jetzt aber, wo das Vorhandensein eines alle Räume durchdringenden Atomengases theoretisch begründet ist, können wir diese offen gelassene Frage beantworten. Bei dieser Gelegenheit sei es auch gestattet, das Attractions-Gesetz selbst nochmals in einfacher fasslicher Weise zu begründen.

Es dürfte Niemand in Abrede stellen, dass die Bewegung der Atome während des An- und Abprallens von einem Molecüle um etwas verzögert wird. Diese Verzögerung umfasst jene Zeit, welche das Atom braucht, um seine Bewegung nach einer Richtung einzubüssen, und dieselbe nach einer anderen Richtung wieder zu erlangen.

Wenn sich also zwischen den Atomen zwei Molecüle gegenüberstehen, so werden offenbar die von einem Molecüle *M* (Fig. 6) reflectirten Atome etwas später zu dem anderen *M*, gelangen, als

Digitized by Google

wenn die Bewegung der Letzteren durch keinen An- und Abprall gehindert worden wäre.

Diese an der Oberfläche der Molecüle eintretende Bewegungsverzögerung muss nun zunächst bewirken, dass in der Richtung von einem Molecüle zum anderen (von M nach M_1 und umgekehrt,) weniger Atome in derselben Zeit gelangen, als an die äusseren, von einander abgewendeten Flächen, so dass die Spannkraft des Weltgases zwischen den Molecülen kleiner wird als ausserhalb derselben. Die so entstehende Druckdifferenz ist es nun, welche die Molecüle einander zu nähern strebt.

Der Sitz dieser Bewegungsverzögerung, welche die Ursache der Schwere wird, ist also an der Oberfläche des Molecüles zu suchen, während die Wirkung derselben, an einem anderen nahestehenden Molecüle bemerkbar wird. Daher kommt es, dass das Molecül M ein anderes M_1 gleichsam anzieht.

Diese Vorstellungsweise muss man festhalten, um sich das Gesetz der Einwirkung klar machen zu können. Wir wollen nun sehen, in welcher Weise die Wirkung mit der Entfernung abnimmt.

Jede Bewegungsveränderung in einem Gase wird von diesem in wellenförmiger Bewegung fortgepflanzt. Wir sehen dieses am Schalle, der sich in der Luft, und am Lichte, welches sich im Weltgase (Aether) in wellenförmigen Schwingungen ausbreitet. Diese Fortpflanzung geschieht derart, dass die Intensität der Bewegungsänderung mit dem Quadrate der Entfernung vom Entstehungsorte abnimmt, während die Qualität derselben überall gleich bleibt. Der Ton behält in jeder Entfernung dieselbe Höhe, wird aber mit zunehmender Entfernung schwächer hörbar. Das Licht bleibt so lange Licht von derselben Farbe, so lange es sich in demselben Medium fortbewegt; die Intensität desselben nimmt aber mit dem Quadrate der Entfernung von der Lichtquelle ab.

Es kann also auch die an einem Orte entstandene Bewegungsverzögerung der Atome sich nur in gleicher Weise ausbreiten: ihre Intensität muss mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen, während die Qualität ihrer Wirkung überall dieselbe bleibt.

Digitized by Google

Dieser Satz liesse sich auch direct aus der Molecularbewegung ableiten *).

Wenn wir uns endlich an der Stelle eines Molecüles, einen aus *N* Molecülen bestehenden Körper denken, so wird sich der beschriebene Vorgang auch *N* mal wiederholen.

Es gilt dieses allerdings nur unter der Voraussetzung dass die Atome zu jedem Molecüle gelangen können. Diese in §. 8 noch offen gelassene Frage, kann hier aber mit Rücksicht auf die im vorigen Abschnitte, dann auch in §. 22 gegebenen Erklärungen, ohne weiteres bejahet werden.

Wenn man mit m die Masse eines Molecüles und mit μ die Masse in einer Raumeinheit des zu durchschreitenden Körpers bezeichnet, so findet man mit Hilfe der in §. 12 aufgestellten Formel (15), dass bei zwei schmalen prismatischen Körpern von gleichem Querschnitte und verschiedenen Längen D und D, deren Massen sich wie $M : M_1$ verhalten, die Zahlen der Reflexionen $\frac{5}{3}n$ und $\frac{5}{3}n_1$, welche ein Atom durchmachen muss, um diese Körper nach den Längenrichtungen durchschreiten zu können, in folgendem Verhältnisse stehen:

$$\frac{5}{3}n : \frac{5}{3}n_1 = D\mu : D_1\mu_1 = M : M_1$$

d. h.: die Zahl der Reflexionen, welche ein Atom bei dem Durchschreiten eines solchen Körpers erleidet, wächst unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Masse dieses Körpers. Das was hier von dem prismatischen Elemente eines Körpers gesagt worden ist, kann auf einen Körper von beliebiger Form übertragen werden, wenn man sich letzteren in ähnliche prismatische Elemente zerlegt denkt, und weil die Bewegungsverzögerung mit der Anzahl der Zusammenstösse eines den Körper durchschreitenden Atomes proportional zunimmt, so wird auch die Wirkung derselben, die Schwere, proportional der Masse eines Körpers zunehmen müssen.

Es bleibt nur noch die Frage übrig, ob der Druck des Weltgases auch hinreichend stark ist, um die Erscheinungen der

*) Die hier beschriebene Bewegungsverzögerung hat man sich übrigens nicht etwa als eine Abnahme der Atomgeschwindigkeit, sondern als ein Zurückbleiben der Atome während ihrer Reflexion vorzustellen.

Digitized by Google

allgemeinen Schwere erklären zu können. Auch hierüber gibt uns die Rechnung Auskunft, indem sie zeigt, dass schon ein Quadrillientel der Spannkraft des Weltgases hinreichend ist, um z. B. den freien Fall der Körper auf unserer Erde zu erklären, indem der in §. 7 mit $k = \frac{\tau}{t}$ bezeichnete Coefficient, welcher das Verhältniss zwischen der Verzögerungszeit τ (während einer Reflexion), zu der Zeit t angibt, welche zwischen den Zusammenstössen je zweier Atome verfliesst, eine äusserst kleine Zahl vorstellt. (Siehe die Berechnung im Anhange, 5.)

Man kann also auch quantitativ diese Art der Erklärung der Schwere gelten lassen und es ist hiermit nachgewiesen, dass es in der That nicht der Annahme einer allen Theilchen der Materie innewohnenden Anziehungskraft bedarf, um die allgemeine Gravitation der Himmelskörper und den freien Fall auf der Erde zu erklären, indem beide als Wirkungen der allgemeinen Bewegung dargestellt werden können.

Das was wir auf der Erde als Schwere fühlen, rührt demnach von einem Drucke des Weltgases her, dessen Atome zu der Erde (von oben nach abwärts) in grösserer Menge strömen als von derselben (nach aufwärts). Es ändert sich damit selbstverständlich nur die Vorstellungsweise die wir uns bisher über das Wesen der Schwere gemacht hatten, während die Gesetze des freien Falles völlig unberührt bleiben, ja durch die gegebene Erklärung sogar eine theoretische Bestätigung erhalten.

§. 24. **Die Cohäsion.** Dieselbe Ursache, welche die Weltkörper einander zu nähern strebt, hält auch die Molecüle eines festen Körpers zusammen, und verleiht ihnen eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen äussere Kräfte.

Wie kommt es aber — wird man fragen — dass die Cohäsion eine viel intensivere Kraft vorstellt, als es bei der Schwere der Fall ist?

Dieser eigenthümliche Unterschied zwischen Cohäsion und Schwere kann folgenden Umständen zugeschrieben werden:

1. So lange die Entfernung der Molecüle grösser ist als die mittlere Weglänge der Atome, so lange bleibt auch der früher erwähnte Coefficient $k = \frac{\tau}{t}$ constant, indem durchschnittlich nach

je t Secunden ein Atom an das Molecül anstösst, und dabei in seiner Bewegung eine kurze Zeit τ zurückgehalten wird.

Sobald zwei Molecüle einander so nahe kommen, dass ein zwischen denselben befindliches Atom während derselben Zeit t, auch 2, 3, 4, . . . νmal von einem Molecüle zum anderen reflectirt werden kann, so erhält auch k einen anderen, veränderlichen Werth, und zwar wird im allgemeinen:

$$k = \frac{\nu\tau}{t}$$

Dieser Werth wird mit abnehmender Entfernung zunehmen, und mit ihm die Grösse der Bewegungsverzögerung) sowie auch die Kraft welche die Molecüle gegeneinander treibt. (S. §. 7, Formel 10.)

Die mittlere Weglänge der Atome, welche nach Formel 15 (Seite 48) bedeutend grösser ist als die mittlere Entfernung der Letzteren, bezeichnet demnach die Grenzdistanz der Molecüle, von welcher an die Schwere in die Cohäsion übergeht.

2. Nachdem der Sitz der Schwer- und Cohäsionskraft an der Oberfläche des Molecüles zu suchen ist, so gilt der Satz, dass diese Kräfte mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen, nur unter der Voraussetzung, dass diese Entfernung von der Molecular-Oberfläche aus gemessen wird. Bei weit auseinanderstehenden Molecülen und Körpern, kann an deren Stelle auch die Entfernung der Mittelpunkte gesetzt werden; sobald aber die Molecüle einander sehr nahe kommen, so wird auch die Wirkung der Cohäsionskraft mit dem Abstande der Molecular-Oberflächen in quadratischem Verhältnisse abnehmen, daher mit zunehmender Annäherung der Molecüle in stärkerem Masse wachsen, als es dem Newton'schen Gesetze zufolge der Fall sein sollte.

Wir können hieraus schliessen, dass die räumliche Ausdehnung der Molecüle auf die Cohäsion derselben einen wesentlichen Einfluss nehmen wird, indem Körper mit räumlich grossen Molecülen auch eine relativ grössere Festigkeit besitzen müssen.

Das was hier von der Cohäsion der Körpermolecüle gesagt worden ist, gilt in nahezu gleicher Weise auch von den Atomen eines Molecüles; denn Molecüle sind, nach der früher (§. 15) vorgetragenen Entstehungsweise, als Aggregate von Atomen aufzufassen, in welchen die gebundenen Atome dieselbe Rolle spielen, wie

Digitized by Google

die Molecüle in einem Körper. Es ist demnach zu erwarten, dass Molecüle mit räumlich grossen Atomen eine grössere Festigkeit besitzen werden, als andere, mit kleinen Atomen.

§. 25. **Adhäsion und Capillarität.** Auch jene eigenthümlichen Wechselwirkungen zwischen festen und flüssigen Körpern, welche sich theils als Anziehung theilt als Abstossung kundgeben, lassen sich auf eine Druckdifferenz des Weltgases zurückführen und in folgender Weise erklären:

Wenn man die Oberfläche einer tropfbaren Flüssigkeit *W* (Taf. I, Fig. 4) mit einem festen plattenförmigen Körper berührt, so wird der Letztere den directen Anprall der Weltgasatome an der Berührungsstelle der Flüssigkeit theilweise abhalten, indem die Platte *LN* je nach ihrer Dichte nur einen grösseren oder geringeren Theil der Gasatome durchlässt.

Ist der durchgelassene Theil noch hinreichend gross, um der lebendigen Kraft der gegen die Oberfläche zuströmenden Flüssigkeitsmolecüle entgegenzutreten, und die Molecüle zusammenzuhalten, so wird die Flüssigkeit an jenem Orte eine convexe Oberfläche wie sonst bilden, und nur durch den Druck der Platte etwas abgeflacht erscheinen. (Siehe Fig. 9. B.) Die Flüssigkeit kann auch an der Platte nicht adhäriren, indem die durch den Körper *LN* gegen die Flüssigkeit strömenden Atome des Weltgases die Letztere gleichsam zurückdrängen. Wir sagen in diesem Falle: zwischen dem festen Körper und der Flüssigkeit besteht keine Adhäsion.

Ist aber der Körper *LM* bedeutend dichter als die Flüssigkeit, so dass er nur einen verhältnissmässig kleinen Theil der Weltgasatome durchlässt, deren Druck nicht im Stande ist den Molecülen der Flüssigkeit das Gleichgewicht zu halten, so können die Letzteren ihre Bewegung bis an die Berührungsfläche des festen Körpers fortzetzen, und sogar zwischen die Molecüle des Letzteren eindringen. Dadurch wird selbstverständlich ein viel innigerer Zusammenhang zwischen beiden Körpern erzielt, so dass sie zusammen gleichsam einen Körper bilden, dessen Aggregate durch den Druck des umgebenden Weltgases zusammengehalten werden.

Am Rande der Berührungsfläche können sich die Flüssigkeitsmolecüle so weit über das gewöhnliche natürliche Niveau erheben, als sie gegen das Zuströmen der Weltgasatome durch den festen

Digitized by Google

Körper *LN* geschützt sind, und es muss sich an diesem Rande eine concave Gleichgewichtsfläche zwischen Gas und Flüssigkeit bilden; (Fig. 4.) Ein solcher concaver, sich an dem festen Körper ausbreitender Rand ist auch bei allen adhärirenden Flüssigkeiten bemerkbar, und wird gewöhnlich als Zeichen der Adhäsion angesehen, im Gegensatze zu dem convexen Rande jener Flüssigkeiten, die an festen Körpern nicht adhäriren. (Siehe Fig. 9, *A* und *B*.)

Aus dieser Erklärung folgt ganz in Uebereinstimmung mit der Beobachtung, dass im allgemeinen (ohne Rücksicht auf besondere Molecular-Verhältnisse) die Flüssigkeiten nur an specifisch dichteren festen Körpern adhäriren.

Wir haben es daher nicht nöthig zu der Hypothese zu greifen, dass zwischen den Molecülen gewisser Körper, z. B. Glas und Wasser, eine Anziehung, zwischen anderen z. B. Glas und Quecksilber, eine Abstossung stattfindet; denn aus der obigen Erklärung stellt sich von selbst heraus, dass das Wasser an dem specifisch dichteren Gase adhäriren muss, während das dichtere Quecksilber zu dem minder dichten Glase keine Adhäsion zeigt. Wir können uns auf gleiche Art auch erklären, warum die Adhäsion zwischen Glas und Wasser aufhört, sobald man Ersteres mit einem Fette oder Harze bestrichen hat, wodurch auf dem Glase eine Schichte von geringerer Dichte (als jene des Wassers) entstanden ist.

Hat man aber auf diese Art eine Erklärung für die Adhäsion gefunden, so ergeben sich aus derselben auch die Erscheinungen der Capillarität; denn es werden Flüssigkeiten welche an den Gefässwänden adhäriren, diese auch benetzen, und an der Gefässwand aufsteigen; (s. Fig. 9), während andere, dichtere Flüssigkeiten von den durch minder dichte Gefässwände durchströmenden Weltgasatomen zurückgedrängt werden, und mit einer convexen, nach abwärts steigenden Niveaufläche am Rande abschliessen. Werden dann die Gefässwände einander sehr nahe gebracht, so stellt sich entweder eine Elevation oder eine Depression des Niveaus heraus, welche Erscheinungen in ganz gleicher Weise erklärt werden können wie sie bisher gewöhnlich erklärt worden sind; denn, wenn man nun auch weiss, dass die Adhäsion keiner den Molecülen eigenen Anziehungskraft zuzuschreiben ist, so kann der gebräuchliche Ausdruck: „die Flüssigkeitstheilchen werden von dem Glase angezogen ober abgestossen" — der Bequemlichkeit halber bei Er-

Digitized by Google

klärungen auch weiterhin beibehalten werden. Es ändert sich eben nur die Anschauungsweise, welche das Wesen der Adhäsion nicht als ein „Anziehen", sondern als ein „Andrücken" erklärt, die Wirkung bleibt aber in beiden Fällen dieselbe.

§. 26. **Das intermoleculare Weltgas.** Zum Schlusse sei hier noch in etwas ausführlicherer Weise einer bereits mehrfach erwähnten Eigenschaft des Weltgases gedacht, nämlich der Fähigkeit desselben, sich zwischen den Molecülen eines Körpers zu verdichten.

Jeder Körper enthält zwischen den Molecülen eine gewisse Menge von Weltgas, dessen Atome zwar unablässig wechseln, dessen Dichte aber so lange constant bleibt, als sich die innere Beschaffenheit der Körpers, namentlich die Grösse und mittlere Entfernung seiner Molecüle nicht ändert.

Dieses intermoleculare Weltgas besitzt eine andere Dichte als das Weltgas im freien Zustande; denn die zwischen die Molecüle dringenden Atome erleiden daselbst — wie schon im §. 12 erklärt worden ist, — eine Verzögerung in ihrer Bewegung, und können in Folge dessen den Körper nur langsamer, auf vielfach gebrochenem Wege durchschreiten. Dadurch aber verweilen sie viel länger im Inneren des Körpers, als es bei freiem Durchzuge der Fall gewesen wäre, und nachdem von aussen her unablässig neue Atome nachrücken, so entsteht zwischen den Körpermolecülen eine natürliche Stauung oder Verdichtung des Weltgases.

Die Dichtezunahme im Innern des Körpers lässt sich mit Hilfe der früher aufgestellten Formel (20), (siehe im Anhange, 7) berechnen, und sie bietet uns auch den Schlüssel zur Erklärung vieler Erscheinungen dar, von welchen hier vorläufig nur eine erwähnt werden soll:

Es folgt nämlich aus den im Anhange mitgetheilten Formeln, dass in dem Masse, als ein Körper durch Druck oder Abkühlung einen kleineren Raum einnimmt, wodurch die Molecüle desselben einander näher rücken, auch die Verdichtung des intermolecularen Weltgases zunehmen muss. Dieselbe wird anfänglich sehr langsam vor sich gehen, später aber, bei stärkerer Compression, in potenzirtem Masse, u. z. nahezu mit der 3ten Potenz der Raumverminderung wachsen.

Digitized by Google

Mit der zunehmenden Dichte des inneren Weltgases muss aber offenbar auch die Widerstandsfähigkeit des Körpers gegen äussere Druckkräfte wachsen, und eine derartige Zunahme der Widerstandsfähigkeit ist bei verschiedenen Körpern in der That auch beobachtet worden.

So ist es z. B. bekannt, dass die Spannkraft des Wasserstoffgases bei zunehmender Verdichtung in stärkerem Masse zunimmt, als man es dem Mariotte'schen Gesetze nach erwarten sollte, und ich habe bereits (S. 35) nachgewiesen, dass diese Eigenthümlichkeit auch bei anderen Gasen, z. B. beim Stickstoff, vorkommen muss, obgleich sie durch die gleichzeitig erfolgende Spannkraftsabnahme durch Molecular-Zusammenstösse verdeckt wird. Sie tritt aber bei hohen Verdichtungen neuerdings, und in viel auffallenderer Weise zu Tage, wie man aus den Versuchen erfährt, die im Jahre 1851 von Joh. Natterer und L. Redtenbacher in Wien angestellt worden sind. *)

Dieselben construirten nämlich einen Apparat, mittelst dessen sie in einem stählernen Recipienten verschiedene Gase einem sehr hohen Drucke aussetzen konnten. Die Versuche hatten das merkwürdige Resultat, dass das Volumen der unten bezeichneten Gase bei einem Drucke von 3600 Atmosphären nicht etwa auf den 3600ten Theil comprimirt wurde, sondern dass in einen Raum, in welchem dem Mariotte'schen Gesetze nach 3600 Volumina hätten verdichtet werden sollen, nur hineingepresst werden konnten:

von	Stickgas	710	Volumina
„	Kohlenoxidgas	730	„
„	atmosph. Luft	800	„
„	Leuchtgas	850	„
„	Wasserstoffgas	1040	„

Die genannten Physiker machen hiezu die Bemerkung „dass dieses Resultat um so merkwürdiger erscheine, als nach den Beobachtungen von Regnault bei einem Drucke von nur 30 Atmosphären für Stickgas und atmosphärische Luft gerade das entgegengesetzte Verhalten eintritt, während das Wasserstoffgas bei diesem geringen Drucke wie oben das Stickgas sich verhalte."

*) Sitzungsberichte der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien mathem. naturw. Classe, Jahrgang 1851, VI. Band, 5. Heft.

Digitized by Google

Diesen scheinbaren Widerspruch löst nun die hier entwickelte Theorie der Bewegung, ja wir können mit Hilfe derselben sogar das Gesetz der Compressibilität in eine mathematische Formel kleiden.

Diese Formel, welche zur Berechnung der Spannkraft verschiedener Gase und Dämpfe dienen kann, findet der Leser im Anhange (8) entwickelt. Ich unterlasse es jedoch hier ein Zahlenbeispiel anzuführen; denn die Anwendung dieser Formel zur wirklichen Berechnung der Spannkraft jener Gase, deren Verhalten bei höherem Drucke durch Versuche ermittelt worden ist, führt zu dem merkwürdigen Resultate, dass die Elasticität der Molecüle bei zunehmender Verdichtung abnimmt.

Nachdem ich aber die Ursache dieser Erscheinung erst im nächsten Abschnitte besprechen kann, so will ich auch die darauf bezüglichen Zahlen nicht früher vorführen.

Dasselbe was hier von der zunehmenden Widerstandsfähigkeit der Gase gesagt worden ist, gilt in gleicher Weise auch für tropfbare Flüssigkeiten, deren Molecüle offenbar viel dichter beisammenstehen, so dass sie gleichsam sehr stark verdichtete Gase vorstellen. Es wird dadurch die äusserst geringe Compressibilität des Wassers und anderer Flüssigkeiten, sowie auch die grosse Widerstandsfähigkeit fester und flüssiger Körper gegen äussere Druckkräfte erklärlich.

Digitized by Google

V.

Die Wärme.

Mit dem Nachweise dass die Schwere, dann die Adhäsion und Cohäsion als Wirkungen der Bewegung darstellbar seien, und dass es zu deren Erklärung nicht erst der Annahme eigener Anziehungskräfte bedürfe, ist auch der schwierigste Theil der vorliegenden Aufgabe als gelöst zu betrachten; denn gerade diese „Kräfte" waren es, deren Wesen uns am längsten unbekannt blieb.

Dass dann die übrigen, als Wirkungen imponderabler Stoffe betrachteten Erscheinungsformen Wirkungen der Bewegung sein müssen, wird zum Theile jetzt schon angenommen, und konnte auch von jenem Momente an erkannt werden, von welchem an man die Wärme als einen Zustand der Bewegung aufgefasst hat. — Zahlreiche Versuche stellten es ja ausser Zweifel, dass Licht und Elektricität in Wärme übergeführt werden können, und dass die Letztere auch wieder Licht und Elektricität zu erzeugen im Stande ist.

Es handelt sich also nur noch darum, den eigentlichen Zusammenhang zwischen den genannten Erscheinungen zu ermitteln, und dieser stellt sich gleichsam von selbst her, sobald man dieselben wieder nur auf die durch Bewegung hervortretenden Eigenschaften der Materie zurückführt.

Zu diesem Zwecke erscheint es vor allem nöthig das Wesen der Wärme, wie es auf Grundlage der bereits bekannten Forschungs-Resultate von J. R. Mayer, Fried. Mohr, Joule, Clausius u. a., dann mit Rücksicht auf die hier vorgetragene Darstellung der molecularen Beschaffenheit der Körper aufgefasst werden muss, in kurzen Umrissen zu skizziren:

Digitized by Google

§ 27 **Wesen der Wärme.** Die gesammte, in einem Körper vorhandene lebendige Kraft stellt die Wärme desselben vor. Diese Wärme besteht aus zwei Theilen und zwar:

1. aus der lebendigen Kraft der fortschreitenden oder schwingenden Bewegung der Molecüle. (Eigentliche Körperwärme.)

2. Aus der lebendigen Kraft der fortschreitenden oder schwingenden Bewegung der in den Molecülen enthaltenen Bestandtheile oder Atome. (Molecularwärme.)

Der erstgenannte Theil stellt die an dem Körper wahrnehmbare Wärme dar, jene Wärme, welche auf die räumliche Ausdehnung und den Aggregatszustand des Körpers den nächsten Einfluss übt. Bei permanenten Gasen bildet diese Wärme einen der Spannkraft proportionalen Factor, (nämlich: $nmc^2 = a\,(1 + at)$. S. Spannungs-Formel 12, Seite 30), und es kann überhaupt die mittlere lebendige Kraft eines Molecüles als Mass der Temperatur gelten, indem jede Erhöhung oder Verminderung dieser lebendigen Kraft sich durch eine Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur äussert.

Der zweite Theil, die Molecularwärme, hat auf die Ausdehnung des Körpers im gewöhnlichen Zustande keinen Einfluss, und stellt gleichsam die gebundene Wärme vor.

Aus dieser Erklärung geht nun hervor, dass zwei benachbarte Körper, welche Molecüle von ungleicher mittlerer lebendiger Kraft besitzen, auch ungleiche Temperatur haben müssen, und dass bei der Berührung die Molecüle des wärmeren Körpers den Ueberschuss ihrer lebendigen Kraft oder Wärme auf die Molecüle des kälteren Körpers theilweise übertragen können, und ihn auf diese Art erwärmen müssen.

Das Gefühl, welches wir bei der Berührung eines Körpers empfinden, dessen Molecüle stärker schwingen als jene unseres eigenen Körpers, pflegen wir im gewöhnlichen Leben „Wärme“ zu nennen, während wir einen anderen Körper mit schwächer schwingenden Molecülen als „kalt“ bezeichnen.

Nachdem also die Wärme nur als ein Zustand der Bewegung aufzufassen ist, so folgt hieraus, dass sich dieselbe von einem Körper zum anderen fortpflanzen kann, und diese Fortpflanzung oder Uebertragung der Wärme geschieht auf zweierlei Art:

Digitized by Google

1. Durch unmittelbaren Zusammenstoss der Molecüle untereinander, und

2. durch Vermittlung des Weltgases.

Die Molecüle eines tropfbaren oder ausdehnsam flüssigen Körpers können ihre lebendige Kraft den Molecülen eines anderen Körpers unmittelbar durch den Anstoss mittheilen.

Die Molecüle eines vollkommen starren Körpers aber schwingen nur um ihre Ruhelage, ohne sich gegenseitig zu berühren. Es kann daher die Uebertragung der lebendigen Kraft von einem Molecüle zum anderen nur dadurch geschehen, dass diese Kraft zunächst den anliegenden Atomen des Weltgases mitgetheilt, und von diesen erst auf andere Molecüle und Körper übertragen wird.

Insoweit diese Fortpflanzung zwischen den Molecülen eines und desselben Körpers, oder zwischen den Molecülen unmittelbar angrenzender Körper geschieht, wird dieselbe in der Regel als Wärmeleitung bezeichnet, während man unter Wärmestrahlung die Fortpflanzung der Wärme auf entferntere Körper unter Vermittlung des Weltgases zu verstehen hat.

Die Wärmeleitung in starren Körpern ist daher nicht allein von der Beschaffenheit der Molecüle, sondern auch von ihrer gegenseitigen Entfernung, und von der Dichte des dazwischenliegenden (intermolecularen) Weltgases abhängig. Man unterscheidet auch gute und schlechte Wärmeleiter.

Starre Körper, deren Molecüle eine verhältnissmässig grosse Masse und geringe Dichte besitzen, und räumlich weit auseinanderstehen, sind in der Regel schlechte Wärmeleiter; denn die eben beschriebenen Molecüle können vom dazwischenliegenden Weltgase nur langsam in Mitschwingungen versetzt werden.

Andere Körper bei denen das Gegentheil stattfindet, insbesondere flüssige Körper, sind in der Regel bessere Leiter, indem deren Molecüle entweder untereinander zusammenstossen, oder doch von dem stärker verdichteten Weltgase leichter zum Mitschwingen bewogen werden können.

§. 28. **Quellen der Wärme.** Die eigentliche Urquelle der Wärme ist das Weltgas, von dem wir nun wissen, dass es eine immense Quantität lebendiger Kraft in sich schliesst. Es wurde nämlich in §. 22 nachgewiesen, dass die Spannkraft des Weltgases circa 19000mal grösser ist, als jene der atmosphärischen Luft; es muss

Digitized by Google

daher auch in einer Raumeinheit des Weltgases eine 19000mal grössere lebendige Kraft oder Wärme enthalten sein, als in einer Raumeinheit der Luft.

Bemerkenswerth ist die Art und Weise wie die lebendige Kraft der Weltgasatome auf die Molecüle übertragen, und so in eigentliche Körperwärme überführt wird.

Man denke sich mitten im Weltgase ein Molecül, und zwar ruhend, also ohne Wärme. Dieses Molecül wird von den nach und nach daraufstossenden Atomen des Weltgases in eine Art von schwingender Bewegung versetzt, (s. §. 5); denn jedes an das Molecül stossende Atom überträgt diesem einen Theil seiner Bewegung, und nachdem mit der Zeit immer andere Atome an dieses Molecül gelangen, so muss sich schliesslich die mittlere lebendige Kraft des Molecüles jener eines Atomes gleichstellen. Es lässt sich dieses auch mathematisch beweisen, und stimmt mit dem im §. 17 erhaltenen Resultate überein.

Daraus ergibt sich nun eine höchst merkwürdige Eigenschaft der Wärme:

Denken wir uns, ein Körper habe n Molecüle, jedes von der lebendigen Kraft l; so wird die in diesem Körper enthaltene Menge der freien Wärme W gleich sein der $n$fachen lebendigen Kraft eines Molecüles, also:

$$W = nl$$

Würde sich nun, durch irgend eine Ursache, jedes Molecül des betrachteten Körpers in r frei bewegliche Theile theilen, so dass nun dieselbe Masse aus nr kleineren Molecülen bestünde, so müsste durch die oben beschriebene Einwirkung des Weltgases jedes dieser neuen Molecüle abermals die lebendige Kraft l eines Atomes erhalten, und wir haben nun in demselben Körper die Wärmemenge:

$$W_1 = nrl = rW$$

das heisst, die Wärmemenge des Körpers hat sich auf das $r$fache erhöht.

Desgleichen müsste sich auch umgekehrt durch das Zusammenziehen von je r Molecülen zu einem neuen grösseren Molecüle, die Menge der im Körper frei vorhandenen Wärme auf den r^{ten} Theil reduciren.

Digitized by Google

Wir sehen hieraus, dass einer Theilung der Molecüle, ein Zuwachs, und einer Vereinigung derselben zu grösseren Massen eine Abnahme in der Quantität der Körperwärme entsprechen muss, ohne jedoch die Temperatur des Körpers, d. i. die lebendige Kraft eines Molecüles zu verändern.

Es ist nun leicht begreiflich dass der Zuwachs an lebendiger Kraft in gleichem Masse auch die Spannkraft des aus den Molecülen gebildeten Körpers erhöhen muss; bleibt aber der Körper unter gleichem Drucke, so werden die Molecüle desselben jenen grösseren Raum einnehmen, welcher der Spannkraftszunahme entspricht; der Körper wird sich ausdehnen ohne die Temperatur zu verändern. In diesem Falle wird die zugewachsene Wärmemenge zur Ausdehnung des Körpers, also zur Verrichtung einer Arbeit verwendet.

Die lebendige Kraft der Weltgasatome ist es aber auch, welche den Molecülen die ihnen eigenthümliche Wärme verleiht, denn nachdem die Molecüle wieder aus einzelnen Bestandtheilen (den Atomen) bestehen, so müssen die auf die Oberfläche der Molecüle von allen Seiten her stossenden Weltgasatome einen Theil ihrer lebendigen Kraft den Molecularatomen mittheilen, und diese in steter Schwingung erhalten.

So lange sich die Dichte und Spannkraft des Weltgases, und die räumliche Ausdehnung des Molecüles nicht ändert, so lange bleibt auch die Molecularwärme constant. — Sie wächst aber mit zunehmender Dichte des Weltgases, und der zunehmenden Geschwindigkeit seiner Atome.

Die Temperatur der Molecüle spielt, wie wir später sehen werden, eine bedeutende Rolle bei chemischen Veränderungen der Körper; man findet eine ausführliche Berechnung derselben im Anhange Nr. 9.

Andere Quellen der Wärme sind auch noch die Reibung, Stösse, verschiedene Erschütterungen u. dgl. welche den Molecülen von aussen neue lebendige Kraft zuführen, und dadurch die Temperatur erhöhen.

§. 29. **Wärme und Cohäsion.** Zahlreiche Versuche, so wie auch die tägliche Erfahrung haben es ausser Zweifel gestellt, dass zwischen der Wärme und der Cohäsion ein eigenes Wechselverhältnis besteht, indem die Cohäsionskraft mit zunehmender Wärme in

Digitized by Google

der Regel abnimmt, und überhaupt der Aggregatszustand eines Körpers von der Temperatur abhängig ist. Der Zusammenhang dieser Erscheinungen konnte bisher ebenfalls nicht erklärt werden, und selbst die neuere mechanische Wärmetheorie liess die Frage über die Wechselwirkung der sogenannten Molecularkräfte mit der Wärme noch ungelöst.

Wenn wir aber annehmen, dass die Molecüle eines Körpers nur durch den Druck des sie umgebenden Weltgases zusammengehalten werden, so erscheint es auch begreiflich, dass jede Aenderung in der lebendigen Kraft der Molecüle gleichzeitig eine Störung in dem Gleichgewichte, und unter Umständen auch eine Aenderung in dem Zusammenhange der ganzen Molecularmasse zur Folge haben muss.

Wird den Molecülen eines Gases durch Erwärmung eine erhöhte lebendige Kraft ertheilt, so wächst mit dieser Zunahme auch die Spannkraft des Gases, indem diese Letztere, bei gleichem Volumen, der gesammten lebendigen Kraft der Gasmolecüle proportional ist. (S. Formel 12). Bleibt aber das Gas unter constantem Drucke, so muss sich in demselben Masse das Volumen des Gases erweitern.

Bei festen Körpern wird die Erhöhung der lebendigen Kraft der Molecüle sich auch den Atomen des intermolecularen Weltgases durch den Anstoss mittheilen, und die Spannkraft dieses Gases erhöhen. Nachdem aber die Spannkraft des äusseren Weltgases dabei als unveränderlich betrachtet werden kann, so muss eine Spannkraftserhöhung im Inneren die Molecüle des Körpers auseinander drängen, und zwar so lange, bis sich zwischen dem inneren und äusseren Weltgasdrucke das Gleichgewicht hergestellt hat. Der Körper wird auf diese Art ebenfalls ausgedehnt, doch kann diese Ausdehnung nur eine weit geringere sein, als unter gleichen Umständen bei einem Gase.

Bei tropfbar flüssigen Körpern kommen beide Arten der Ausdehnung vor.

Auch die Aenderung des Aggregatszustandes durch Wärme findet hierin eine Erklärung. Wird nämlich einem festen Körper so viel Wärme zugeführt, bis die in immer grössere Schwingungen versetzten Molecüle in fortschreitende Bewegung gerathen, und auch untereinander zusammenstossen, so wird derselbe tropf-

Digitized by Google

bar flüssig. Denn von diesem Momente an kann jedes Molecül durch Reflexion von anderen Molecülen nach und nach in alle Räume des Körpers gelangen, es wird also innerhalb eines durch das äussere Gas abgegrenzten Raumes frei beweglich, und der Körper verliert seine starre Form.

Wird die lebendige Kraft der Molecüle durch weitere Erwärmung so lange gesteigert, bis dieselbe im Stande ist den Druck des äusseren Gases zu überwinden, so muss sich die Flüssigkeit in einzelne durch keinen Druck mehr zusammengehaltene Molecüle auflösen, welche sich im Raume frei bewegen können, und den Dampf der Flüssigkeit bilden.

Diese in allgemeinen Umrissen gegebene Erklärung des Zusammenhanges zwischen dem Aggregatszustande und der Wärme gilt aber nur für untheilbare Molecüle oder Atome. So lange uns nämlich die Art und Weise der Zusammensetzung der Molecüle aus ihren Bestandtheilen, den Atomen, noch nicht bekannt war, konnten wir auch andere Zustandsänderungen in der Materie nicht in Betracht ziehen.

Wir nehmen aber bei den bekannten Vorgängen des Siedens und Verdampfens, dann der Condensation der Dämpfe, u. s. w., gewisse Erscheinungen wahr, die noch auf andere Veränderungen in der Beschaffenheit der Molecüle schliessen lassen, und daher auch näher besprochen zu werden verdienen.

§. 30. **Condensation der Dämpfe durch Druck oder Abkühlung.** Es ist eine bekannte Thatsache, dass ein und derselbe Körper gleichzeitig und bei gleicher Temperatur in zwei, ja bisweilen sogar in drei verschiedenen Aggregatsformen vorkommen kann. Ein auffallendes Beispiel bietet uns in dieser Hinsicht das Wasser dar, welches bei Temperaturen unter Null als Eis, Wasser und Wasserdampf gleichzeitig vorhanden sein kann.

Diese ebenfalls noch nicht aufgeklärte Thatsache deutet darauf hin, dass derlei Körper Molecüle von zwei wesentlich verschiedenen Grössenabstufungen haben müssen, und zwar kleinere Molecüle welche den Dampf, und bedeutend grössere, welche den flüssigen oder festen Körper bilden.

Nachdem sich ferner die Flüssigkeit in Dampf, und dieser wieder umgekehrt in Flüssigkeit verwandeln lässt, so muss gleich-

Digitized by Google

zeitig mit dem Sieden oder der Verdichtung, eine Veränderung in der Grösse der Molecüle verbunden sein.

Wir wollen nun sehen, ob eine solche Umwandlung in der Molecularbeschaffenheit theoretisch begründet werden kann, und auf welche Art sich dieselbe vollzieht.

Die Condensation eines Dampfes geschieht bekanntlich durch Druck oder Abkühlung. In beiden Fällen wird das Volumen des Dampfes vermindert, und die Molecüle desselben werden einander näher gerückt. Mit der Annäherung der Molecüle steigert sich allmählig auch die Dichte des intermolecularen Weltgases (§. 26), und jedes Molecül, welches früher nur in geringerem Masse dem Anpralle der Weltgasatome an der Oberfläche ausgesetzt war wird nun in derselben Zeit weit mehr Atomstösse zu erleiden haben, daher auch bedeutend stärker erwärmt werden (§. 28.)

Diese Erwärmung hat aber ein allmähliches Erweichen der Molecüle zur Folge, welche in demselben Masse als sie sich ihrem Schmelzpunkte nähern die Starrheit, und mit dieser die Fähigkeit verlieren, die anprallenden Atome und Molecüle zurückzuwerfen.

Wir haben früher jene Zeitdauer, welche ein Molecül braucht um beim Zusammenstosse seine Bewegung nach einer Richtung zu verlieren und nach einer anderen Richtung wieder zu erlangen, mit τ bezeichnet. — Diese Zeit τ, oder richtiger der reciproke Werth $E = \frac{1}{\tau}$ kann uns nun als Mass der Elasticität eines Molecüles dienen; denn je grösser τ wird, desto kleiner muss auch die Elasticität des Molecüles geworden sein.

Dass sich eine solche Abnahme der Molecular-Elasticität bei der Verdichtung der Gase einstellt, lässt sich durch Berechnung des Werthes von τ wirklich nachweisen. Man kann sich hiezu der im Anhange (Nr. 8) mitgetheilten vollständigen Formel zur Berechnung der Spannkraft der Gase und Dämpfe bedienen. — Wenn man mit Hilfe derselben z. B. die Spannkraft des Wasserstoffgases berechnet, und das Resultat mit den Versuchen Regnaults vergleicht, so zeigt sich, man mag die Coefficienten wählen wie man will, stets eine gleichmässig fortschreitende Abweichung der Rechnung von der Beobachtung:

Digitized by Google

Bei dem Volumen:	*Spannkraft des Wasserstoffgases:*	
$v = 1$	berechnet: 1·000;	beobachtet: 1·000 *)
$v = 0·2$	„ 5·018;	„ 5·012
$v = 0·1$	„ 10·136;	„ 10·056
$v = 0·05$	„ 20·965;	„ 20·269

Man sieht hieraus, dass irgend eine in der Formel (33) als constant angenommene Zahl in der Wirklichkeit variabel ist, und nachdem sich während der Compression weder die Temperatur des Gases noch die Grösse und Zahl seiner Molecüle geändert hat, so kann es nur die Zahl τ sein, welche in dem Coefficienten s wachsend zunimmt.

Schlagen wir also den umgekehrten Weg ein, und benützen dieselbe Formel zur Berechnung der aufeinanderfolgenden Werthe von τ; wir erhalten dann:

Volumen	*Werthe von τ bei folgenden Gasen:*		
v	*Wasserstoff*	*Stickstoff*	*Kohlensäure*
1·0	0·0001	0·0011	0·0021
0·2	0·0003	0·0023	0·0104
0·1	0·0008	0·0035	0·0143
0·05	0·0019	0·0059	0·0241

Diese Zahlen bestätigen das was oben gesagt worden ist, und zeigen uns auch, wie die Elasticität der Molecüle bei verschiedenen Gasen verschieden ist, und namentlich bei verdichtbaren Gasen (Dämpfen) rasch abnimmt.

Es kann also bei hinreichender Annäherung der Molecüle und der damit verbundenen Verdichtung des inneren Weltgases ein Moment eintreten, in welchem die in der beschriebenen Weise erwärmten Molecüle schmelzen, mithin ihre Starre oder Elasticität gänzlich verlieren, und bei ihren Begegnungen je zwei oder mehrere in ein grösseres Molecül zusammenfliessen.

Damit eine solche Vereinigung möglich werde, müssen vorzugsweise folgende Bedingungen eintreten:

1. Die Molecüle selbst müssen sich in flüssigem Zustande befinden, und

---

*) Diese Zahlen sind dem „Taschen-Ingenieur" von Armengaud und Barrault (2. Aufl. 1862) entnommen.

2. Die Dichte des intermolecularen Weltgases muss im Zunehmen begriffen sein.

Die erste Bedingung ist unerlässlich, doch kann sie nicht als die einzige betrachtet werden, indem sich ja die flüssigen Molecüle bei ihren Begegnungen auch in kleine Tröpfchen zertheilen könnten. Es muss daher nothwendiger Weise noch irgend etwas vorhanden sein, was die Molecüle zu einander treibt und sie bei ihren Begegnungen zu vereinigen sucht. Diese vereinigende Kraft liefert eben das sich zwischen den Molecülen verdichtende Weltgas; denn sobald die Dichte des letzteren im Zunehmen begriffen ist, so strömen von aussen her in die Molecüle mehr Weltgasatome ein, als gleichzeitig aus denselben heraustreten. Sind also zwei Molecüle in sehr nahe Berührung gerathen, so werden die Aussenflächen von allen Seiten einen von dem allmähligen Zufluss des Weltgases herrührenden Druck zu erleiden haben, der die Molecüle zu vereinigen sucht.

Wäre das umgekehrte der Fall, würde die Dichte des intermolecularen Weltgases im Abnehmen begriffen sein, so könnten die von innen nach aussen in grösserer Zahl strömenden Atome die Molecüle auseinanderdrängen, also einer Vereinigung hinderlich entgegentreten.

Mit dem Momente also, als sich bei der Compression oder der Abkühlung eines Dampfes die zwei oben genannten Bedingungen eingestellt haben, muss auch eine Vereinigung der Molecüle zu je zweien oder mehreren stattfinden.

Diese Veränderung in der Grösse der Molecüle muss auch eine Aenderung des Aggregatszustandes zur Folge haben, indem die Dampfmolecüle zu den neuen, weit grösseren Molecülen in jenes Verhältniss treten, welches in §. 9, 2 als Vorbedingung zur Bildung tropfbarer Flüssigkeiten bezeichnet worden ist.

Gesetzt den Fall es hätten sich je r kleinere Molecüle auf diese Art zu einem neuen, r mal grösseren Molecüle vereiniget, so erhält jedes Molecül durchschnittlich wieder nur die lebendige Kraft l (s. §. 28) eines früheren Molecüles; die übrigen $r-1$ Theile der gesammten lebendigen Kraft oder Wärme, welche früher im Körper enthalten war, werden demnach frei; diese Wärme wird nämlich zunächst an die Moleculâratome übertragen, und von diesen bei der

Digitized by Google

darauf nothwendiger Weise eintretenden Abkühlung der Molecüle als freie Wärme ausgestrahlt.

Die Fig. 18 (Tafel II) enthält die bildliche Darstellung einer Condensation. In *A* ist das stark verdichtete Gas, in *B* die allmählige Vereinigung der flüssig gewordenen Molecüle, und endlich in *C* die entstandene tropfbare Flüssigkeit gezeichnet.

§. 31. **Sieden und Verdampfen.** Es lässt sich aus naheliegenden Gründen vermuthen, dass der soeben beschriebene Vorgang auch in umgekehrter Reihenfolge stattfinden könne. Wird nämlich einem flüssigen oder festen Körper von aussen her Wärme zugeführt, so geschieht dieses wie früher besprochen wurde durch Vermittlung des intermolecularen Weltgases, dessen Atome mit erhöhter Geschwindigkeit zwischen die Molecüle eines Körpers eindringen, und durch ihren Anprall die Temperatur der Letzteren erhöhen.

Es kann dann bei hinreichend starker Erwärmung sogar ein Schmelzen der Molecüle eintreten, und sind diese einmal in den tropfbar flüssigen Zustand gerathen, so bedarf es nur irgend einer äusseren Veranlassung, z. B. einer Erschütterung, des Anpralles anderer fester Molecüle gegen die flüssigen, u. dgl., um eine Theilung der Molecüle in kleinere Tröpfchen zu bewerkstelligen.

Jedes dieser neuen, kleineren Molecüle erhält nun wieder die lebendige Kraft eines Atomes, und ist die Zahl derselben *r* mal grösser geworden, so wird nun in dem Körper eine *r* mal grössere Wärmemenge vorhanden sein, ohne dass die Temperatur des Körpers (die lebendige Kraft eines Molecüles) erhöht worden wäre. Dieser Zuwachs an lebendiger Kraft musste dem Körper durch das Erwärmen zugeführt worden sein, und nachdem die Temperatur in dem Momente der Molecularveränderung constant blieb, so erscheint die zugewachsene Wärme gleichsam in gebundenem Zustande.

Mit dieser Zustandsänderung muss auch eine Veränderung in der räumlichen Ausdehnung des Körpers verbunden sein; denn die im Anhange mitgetheilte Formel (32) sagt uns, dass mit der Abnahme des Halbmessers ρ der Molecüle auch eine Verminderung in der Dichte d des intermolecularen Weltgases eintreten muss. Die Molecüle erleiden nun nicht mehr jene bedeutende Bewegungsverzögerung wie es früher in dem stark verdichteten Weltgase der Fall war, und können sich ihrer lebendigen

Digitized by Google

Kraft entsprechend bewegen und ausbreiten; sie bilden nun den **Dampf der Flüssigkeit.**

Damit also eine Flüssigkeit sieden und verdampfen könne, müssen folgende Bedingungen zusammentreffen: 1. das Flüssigwerden der Molecüle, welches durch Erhitzen bewirkt wird, und 2. eine äussere Veranlassung (Erschütterungen, Stösse etc.), welche eine Zertheilung der Molecüle herbeiführt. Fehlt eine dieser beiden Bedingungen, so kann das Sieden nicht eintreten, und dieser Umstand führt uns zur Erklärung des sogenannten „**Verzuges am Sieden.**“

Es ist nämlich bekannt, dass eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, auch über die Siedetemperatur hinaus erhitzt werden kann, ohne ins Sieden zu gerathen, und es ist durch die Erfahrung (bei Dampfkesseln) bestätiget, dass ein solcher Verzug des Siedens namentlich dann eintritt, wenn die Flüssigkeit gleichmässig und in völliger Ruhe erhitzt worden ist. Ein so überhitztes Wasser geräth aber plötzlich in stürmisches Sieden, sobald das Wasser durch einen Stoss erschüttert worden ist.

Es ist ferner bekannt, dass völlig luftfreies Wasser selbst bei sehr hoher Temperatur nicht zum Sieden gebracht werden kann: auch diese Thatsache leitet zu der Annahme, dass die festen Luftmolecüle durch ihren Anprall gegen die flüssig gewordenen Molecüle des Wassers eine Zertheilung der Letzteren bewirken, und so die Dampfbildung fördern.

Diese Theorie erklärt uns auch, warum das Sieden der Flüssigkeiten in so ungleichmässiger Weise, unter Aufwallen und Blasenwerfen geschieht. Jedes in Theile zerfällte Molecül bildet eine Dampfblase, welche ein der Spannkraft des entstandenen Dampfes entsprechendes Volumen einnimmt, und vermöge des leichteren Gewichtes im Wasser aufsteigt. Die Molecüle des Dampfes werden aber, wenn sie eine gewisse Grösse erreicht haben, (wie später bewiesen werden wird) wieder fest, und können während ihres Aufsteigens auch die Dampfbildung in der nächstliegenden Wasserschichte veranlassen, wodurch sich die ursprünglich kleine Dampfblase immer vergrössert.

Wir begreifen schliesslich auch die ungewöhnlich grosse Kraft des sich bildenden Dampfes; denn gesetzt den Fall, ein Wassermolecül hätte sich in 100 Dampfmolecüle getheilt, so werden

Digitized by Google

diese auch eine 100mal grössere Spannkraft entwickeln, als ein Gas bei welchem auf den gleichen Raum nur 1 Molecül entfallen wäre.

Wir sind hiermit bei der Erforschung der geheimnissvollen Vorgänge im Inneren der Materie abermals um einen Schritt weiter gelangt. — Während wir uns in §. 11 von dem Sieden und Verdampfen nur eine höchst primitive Vorstellung machen konnten, und das nur zu dem Zwecke, um die Entbehrlichkeit der sogenannten Molecularkräfte darzuthun, sind wir hier der Wahrheit schon viel näher gerückt. In wie weit nun das hier entworfene Bild von der Umwandlung eines Aggregatszustandes in den anderen auch ein richtiges ist, und in wie ferne es mit der Erklärung der übrigen verwandten Erscheinungen im Einklange steht, wird dem Leser aus dem später folgenden Abschnitte über „Die Physik der Molecüle" wohl klar werden.

Digitized by Google

VI.

Licht und Elektricität.

§. 32. **Das Licht**. Die Natur des Lichtes wurde seit der Annahme der Undulationstheorie mit solcher Ausführlichkeit studiert, dass wir uns nun über alle hervorragenden Erscheinungen der Fortpflanzung, Brechung, Beugung und Interferenz der Lichtstrahlen vollständige Rechenschaft geben können.

Es ist auch bekannt, dass man um diese Erscheinungen erklären zu können, zu einer Hypothese Zuflucht nehmen musste, indem man annahm, dass die Theilchen der leuchtenden Körper sich in schwingender Bewegung befinden, welche Bewegung dann mittelst eines eigenen, höchst feinen, und alle Poren der Materie, sowie auch den ganzen Weltraum erfüllenden Mittels, des „Aethers", bis zum Sehnerv fortgepflanzt wird.

Diese Vorstellungsweise steht mit der hier vorgetragenen Theorie der Bewegung in keinem Widerspruche; es kann sich hier nur um die Beantwortung der Frage handeln, ob das Weltgas die Rolle dieses Aethers übernehmen könne, oder ob man nicht dennoch bei der früheren Hypothese bleiben, und im Weltraume ein eigenes immaterielles Medium zur Erklärung der Lichterscheinungen annehmen müsse.

Betrachten wir daher den Aether etwas näher, um zu sehen, welche Eigenschaften demselben beigelegt werden müssen. Nehmen wir z. B. das Lehrbuch der techn. Physik von Hessler-Pisko zur Hand, so finden wir im II. Band (Seite 837) darüber folgendes bemerkt:

„Von dem Aether wird vorausgesetzt, dass er ein unendlich feiner, höchst ausdehnsam elastischer Stoff sei, welcher alle Körper durchdringe, und die Zwischenräume der Molecüle einnehme,

Digitized by Google

wohl Trägheit aber keine Schwere besitze, und der Bewegung der Weltkörper kein Hinderniss in den Weg setze. (Ausnahme Enk'scher Komet). Seine Theilchen sollen aufeinander abstossend (vielleicht auch anziehend) wirken, und durch ähnliche Molecularkräfte auch mit den kleinsten Theilchen der Körper in Wechselwirkung stehen. Die Aethertheilchen können durch die wägbare Materie in Bewegung gesetzt werden. Wenn ein Theil des Aethers eine Bewegung erhält, so theilt dieser die Bewegung den zunächst liegenden Theilchen mit, und so wird die Bewegung (nach der für elastische Flüssigkeiten geltenden mechanischen Gesetzen) nach allen Richtungen wellenförmig fortgepflanzt. Dabei nimmt man an, dass die Aethertheilchen senkrecht auf die Richtung der Wellenfortpflanzung schwingen. Es finden zwar auch Aetherschwingungen in der Richtung der Fortpflanzung statt; dieselben verschwinden aber gegen die ersteren in Beziehung auf diese Wirkung."

Wenn man diese Merkmale des Aethers mit der früher vorgeführten Beschreibung des Weltgases vergleicht, so wird man im allgemeinen zugeben müssen, dass dieses Letztere in der That die vom Aether geforderten Eigenschaften besitze. Nur in einem einzigen Punkte stimmen die Beschreibungen nicht überein, indem der Aether ohne Schwere sein soll, während das Weltgas, zur übrigen ponderablen Materie gehört. Diese Eigenschaft aber wurde dem Aether bisher nur aus dem Grunde zugesprochen, damit derselbe „der Bewegung der Himmelskörper kein Hinderniss in den Weg setze," — obwohl der Verfasser des citirten Lehrbuches sogleich auch jene Ausnahme dazu bemerkt hat, welche auf das Gegentheil hindeutet. Diese einzige Ausnahme ist aber hinreichend um die Imponderabilität des Aethers in Frage zu stellen.

Man wird sich auch übrigens bei halbwegs aufmerksamem Lesen der oben angeführten Beschreibung des Aethers nicht verhehlen können, dass ein Stoff, dessen kleinste Theilchen aufeinander ebenso anziehend und abstossend wirken sollen, wie die kleinsten Theilchen der Materie, dessen Theilchen auch mit den Molecülen der Körper in derselben Wechselwirkung stehen sollen, wie es bei der ponderablen Materie selbst der Fall ist, indem sie von diesen die Bewegung übernehmen und auf andere Theilchen fortpflanzen sollen, dass ein solcher Stoff von der ponderablen Materie

Digitized by Google

unmöglich verschieden sein kann. Wenigstens wird man unter der Annahme, dass der Aether ein materielles gasförmiges Medium bilde, sich alle diese von ihm geforderten Eigenschaften ohne Schwierigkeit und ohne zu Hypothesen Zuflucht nehmen zu müssen, erklären können.

Es frägt sich ferner, ob das Weltgas im Stande sei, auch die Fortpflanzung des Lichtes, mit allen dabei vorkommenden Eigenthümlichkeiten zu erklären. — Dass auch dies der Fall ist, kann leicht erwiesen werden.

§. 33. **Fortpflanzung der Schwingungen im Weltgase.** Das Licht besteht bekanntlich in der schwingenden Bewegung der kleinsten Theilchen der Materie. Mag nun diese Bewegung durch die Molecüle oder durch die Molecularatome veranlasst werden, so wird das schwingende Theilchen die Bewegung den zunächst liegenden Atomen des Weltgases in der Weise mittheilen, dass es die Geschwindigkeit der ihm entgegenkommenden Atome um einen Zuwachs γ vergrössert, jene der ihm nachziehenden Atome aber um die Grösse γ_1 verkleinert.

Ist die Masse des schwingenden Theilchens bedeutend grösser als jene der Atome, so werden γ und γ_1 nahezu gleich sein, und die Geschwindigkeit der an- und abprallenden Weltgasatome wird abwechselnd um nahezu dieselbe Grösse vermehrt und dann wieder vermindert.

Diese Atome werden aber ihren Geschwindigkeitszuwachs beim nächsten Zusammenstosse an jene der nächsten Schichte übertragen. Würde z. B. ein Atom *A* (Taf. II. Fig. 14), auf seinem Wege einem zweiten Atome *B* central und in entgegengesetzter Richtung begegnen, so würde es mit diesem nach dem Zusammenstosse Richtung und Geschwindigkeit austauschen, *B* würde den erhaltenen Geschwindigkeits-Zuwachs γ beim nächsten Zusammenstosse an ein 3tes Atom *C* übertragen, und auf diese Art würde derselbe auch an die Atome *D*, *E* u. s. w. übergehen.

Diese Art der Fortpflanzung ist in Fig. 14 dadurch versinnlichet, dass die Bewegungszustände einer Atomenreihe *A*, *B*, *C*, *D* . . ., in den aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten unter einander gezeichnet sind, wobei der von Stoss zu Stoss übertragene Geschwindigkeits-Zuwachs durch einen stärkeren Strich kenntlich gemacht ist.

Digitized by Google

Wenn man sich diesen Vorgang bei allen Atomen welche dem schwingenden Theilchen auf seinem Hin- und Rückgange begegnen, vollzogen denkt, so wird man sich leicht vorstellen können, dass die Spannkraft des zunächstliegenden Weltgases durch abwechselnde Vergrösserung und Verminderung der lebendigen Kraft seiner Atome regelmässig einmal erhöht einmal vermindert wird. Dieser Zustand wird sich in der beschriebenen Weise von Schichte zu Schichte fortpflanzen und dadurch eine wellenförmige Bewegung im Weltgase erzeugen.

Durch diese Bewegung müssen gleichzeitig longitudinale und transversale Schwingungen entstehen; denn die Atome stossen ja nicht immer central zusammen, wie wir es oben der leichteren Vorstellung halber angenommen hatten, sondern begegnen einander unter allen möglichen Richtungen.

Die ursprüngliche Bewegung des schwingenden Theilchens wird also nicht immer in derselben Richtung, sondern in der Regel unter irgend einem Winkel α (Fig. 15) gegen die Bewegungsrichtung AS fortgepflanzt; denkt man sich also den nach der Richtung AB einem Atome mitgetheilten Bewegungs-Zuwachs γ in zwei Componenten $\gamma \cos \alpha$ und $\gamma \sin \alpha$ zerfällt, so wird die Summe der in der Richtung AS liegenden Bewegungscomponenten eine longitudinale, die Summe der anderen, senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung AS liegenden Componenten aber eine transversale Vibration hervorbringen.

Die transversalen Schwingungen sind es nun, welche nach den bisherigen Annahmen den Eindruck des Lichtes hervorbringen können.

§. 34. **Geschwindigkeit des Lichtes.** Wenn man die soeben beschriebene Fortpflanzung der schwingenden Bewegung in einem Gase genauer verfolgt, und dabei nur jene Stosscomponenten ($\gamma \cos \alpha$) berücksichtiget, welche in der Richtung der Fortpflanzungsbewegung liegen, so gelangt man mit Hilfe der Rechnung zu dem Resultate, dass sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schwingungen zur Geschwindigkeit der Gasatome im Mittel wie 2 zu 3 verhalten muss. (Der Beweis hiefür ist im Anhange, bei 6 mitgetheilt.)

Wenn wir also dem Weltgase eine Atomgeschwindigkeit von 63000 geogr. Meilen zuschreiben, so haben wir damit auch ausge-

Digitized by Google

sprochen, dass sich jede in demselben erregte Bewegungsveränderung also in diesem Falle die schwingende Bewegung, mit einer Geschwindigkeit von 42000 geographischen Meilen per Secunde fortpflanzen muss.

Dieses ist in der That die Geschwindigkeit des Lichtes; doch ist dabei zu bemerken, dass sich diese Zahlen nur auf das Weltgas in freiem, unverdichtetem Zustande beziehen, und dass sie also nicht für die Fortpflanzung des Lichtes in einem anderen Mittel gelten.

Sobald nämlich ein Lichtstrahl durch einen Körper fortschreitet, so wird die Geschwindigkeit desselben in dem Masse vermindert, als die Dichte des intermolecularen Weltgases, welches natürlich auch hier die Fortpflanzung der Lichtschwingungen übernehmen muss, zunimmt. Es folgt dieses immer wieder aus dem oft erwähnten Grunde, weil die Bewegung der Atome durch die in einem Körper viel häufiger vorkommenden Zusammenstösse mit anderen Atomen und Molecülen bedeutend verzögert wird. Nachdem ferner diese Bewegungsverzögerung bei einem und demselben Körper mit wachsender Dichte zunimmt, so muss auch die Lichtgeschwindigkeit bei einem und demselben Körper in dem Masse abnehmen, als die Dichte desselben wächst.

Dieser aus der Beschaffenheit des Weltgases selbst abgeleitete Satz stimmt mit der bekannten Eigenthümlichkeit des Lichtes vollkommen überein; denn die Gesetze der Lichtbeugung in der Atmosphäre, sowie jene der Brechung des Lichtes beim Durchgange durch verschieden dichte Medien können ja bekanntlich nur dadurch erklärt werden, dass man voraussetzt, die Geschwindigkeit des Lichtes nehme mit der Dichte (und molecularen Beschaffenheit) des durchsichtigen Mittels ab. Es haben dieses übrigens auch directe Messungen der Lichtgeschwindigkeit bestätiget.

Wenn wir nun diese Resultate zusammenfassen, so können wir wohl zu dem Schlusse gelangen, dass das Weltgas alle wesentlichen Eigenschaften des Weltäthers besitze, daher auch bei der Erklärung der Lichterscheinungen die Functionen des Letzteren übernehmen könne. Es ist daher nicht nöthig zu einer Hypothese zu greifen, um im Weltraume ein eigenes, von der übrigen Materie verschiedenes Medium vorauszusetzen, welches die Aufgabe hat, die Fortpflanzung des Lichtes zu vermitteln. Dieses Medium ist in der

Digitized by Google

Natur bereits als ein Theil der Materie im Weltgase vorhanden. — Weltgas und Weltäther sind identisch.

§. 35. **Die Reibungselektricität.** Ueber das eigentliche Wesen der Elektricität sind wir noch in bedeutender Unkenntniss; denn die Hypothese, dass sämmtliche Körper noch von einem eigenartigen Fluidum durchdrungen sind, welches wieder aus zwei verschiedenartigen Elementen besteht, und bald durch Anziehung, bald durch Abstossung die elektrischen Erscheinungen hervorzubringen im Stande sei, kann wohl nur als ein Nothbehelf in Ermanglung einer besseren Erklärung betrachtet werden.

Wir wollen daher sehen, ob nicht dasselbe Weltgas, welches uns bereits zur Erklärung der Licht- und Wärmeerscheinungen diente, auch die Functionen des elektrischen Fluidums übernehmen kann.

Um die folgenden Auseinandersetzungen zu vereinfachen, will ich dem Leser zuvor einige in den früheren Abschnitten besprochenen Eigenschaften der Molecüle in Kürze vor das Gedächtniss führen;

Nicht alle Molecüle besitzen die gleiche Elasticität, und selbst in einem und demselben Körper kann die Elasticität der Molecüle zu oder abnehmen. Je mehr sich das Molecül von seinem Schmelzpunkte entfernt, desto starrer wird es, und desto kürzer wird die Zeit des An- und Abprallens τ sein. (§. 30.) Je mehr sich aber seine Temperatur dem Schmelzpunkte nähert, desto weicher wird es gleichsam, und desto mehr verliert es die Fähigkeit andere Atome und Molecüle zurückzuwerfen.

Ich will der Kürze halber die Molecüle ersterer Art als härtere, jene der letzteren Art als weichere Molecüle bezeichnen.

Im allgemeinen erweichen die Molecüle eines Körpers in dem Masse, als sich das zwischen ihnen angesammelte Weltgas verdichtet (§. 30).

Dieses vorausgesetzt, wollen wir von dem bekannten Fundamentalversuche ausgehen, und untersuchen, welche Veränderungen die Reibung an einem Körper hervorbringen kann.

Jeder Körper muss in gewöhnlichem Zustande derart beschaffen sein, dass die Zahl A der in irgend einer Richtung gegen seine Oberfläche ziehenden Weltgasatome gleich ist der Anzahl jener Atome, welche in entgegengesetzter Richtung (von der Ober-

fläche, ziehen. Die letztere Zahl wird sich wieder zusammensetzen aus jenen Atomen, welche von den äusseren Molecülen abprallen, und aus jenen welche aus dem inneren des Körpers herausströmen. Bezeichnen wir diese letzteren zwei Zahlen mit R und J, so werden im Zustande des Gleichgewichtes die Molecüle der Oberfläche derart angeordnet sein müssen, dass der einfachen Gleichung:

$$A = R + J$$

genüge geleistet wird. Wäre dieses nicht der Fall, würde also z. B. die Zahl A der von aussen gegen den Körper strömenden Atome überwiegen, müsste der betrachtete Körper auf andere benachbarte Körper anziehend, im entgegengesetzten Falle aber abstossend wirken.

Wenn wir nun einen Körper H, (Fig. 16) an seiner Oberfläche O reiben, so kann diese Reibung entweder den Körper selbst, oder dessen Molecüle erwärmen. Nehmen wir z. B. das Letztere an, und setzen überdiess voraus, dass der Körper H ein schlechter Wärmeleiter ist, so dass die den Molecülen mitgetheilte Wärme eine Zeit lang anhält, so werden die durch Reibung erwärmten Molecüle der Oberfläche dadurch gleichsam weicher, und die anprallenden Atome des Weltgases werden von denselben erst nach etwas längerer Zeit τ reflectirt, als früher. Dadurch aber, dass zwischen den Molecülen der Oberfläche eine Bewegungsverzögerung der Atome eintritt, werden nun zu dem Körper mehr Atome strömen als von demselben, es wird also:

$$A > R + J$$

sein. Wenn wir in diesem Momente dem Körper H einen anderen Körper K nähern, so müssen sich an demselben folgende Erscheinungen zeigen:

1. Der Körper K wird durch den Ueberdruck der nach der Richtung KO in grösserer Zahl strömenden Atome zum Körper H hinzugedrängt, oder von diesem scheinbar angezogen.

2. Die zwischen den Molecülen des Körpers K befindlichen Weltgasatome werden nun in der Richtung KO ebenfalls in grösserer Zahl ausströmen, als einströmen, indem das Gleichgewicht im äusseren Weltgase um den Ort O herum gestört ist. Das Gegentheil findet an dem entfernteren Ende N statt; dort strömen mehr Atome in den Körper als aus dem Körper.

Digitized by Google

3. Damit auf diese Art in dem Körper, wenn auch nur für kurze Zeit, ein Gleichgewicht eintreten könne, wird der Ueberdruck des äusseren Weltgases an dem Ende *N* die Molecüle der Oberfläche zusammendrängen, am Ende *P* aber der innere Ueberdruck die Molecüle auseinander treiben. Dadurch nimmt das entferntere Ende *N* die Eigenschaften des geriebenen Körpers *H* an; denn durch das Zusammendrängen der Molecüle wird auch hier eine stärkere Verdichtung des intermolecularen Weltgases hervorgerufen, die Molecüle erweichen, werden weniger elastisch, und die anprallenden Atome werden zwischen ihnen stärker verzögert.

Am anderen Ende findet das Gegentheil statt. Dort treten die Molecüle der Oberfläche auseinander, die Dichte des intermolecularen Weltgases nimmt ab, die Molecüle werden starrer, und sind nun im Stande die anprallenden Atome schneller zurückzuwerfen als früher.

4. In dem Masse als man den Körper *K* der Oberfläche des Körpers *H* nähert, wird auch der eben beschriebene Contrast in der Molecularbeschaffenheit der Enden *P* und *N* stärker hervortreten; denn die Zahl der aus dem näheren Ende ausströmenden Atome ist viel grösser als die Zahl jener Atome, die aus einem gleich grossen Querschnitte von *N* gegen die Oberfläche *O* zuströmen. Es verhalten sich nämlich, wie man wohl leicht einsehen wird, die Spannungs-Unterschiede in *N* und *P* zwischen den gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen ziehenden Weltgasatomen wie umgekehrt die Quadrate der Entfernungen der Enden *N* und *P* von dem Orte *O*.

Wird also der Körper *K* der geriebenen Oberfläche genähert, so strömen aus *P* die Atome in immer grösserer Zahl aus, und wenn dieses Ausströmen eine Zeit lang durch einen dazwischenliegenden (schlecht leitenden) Körper, z. B. durch eine Luftschichte gehindert wurde, so kann bei hinreichender Annäherung an *O* ein Moment eintreten, in welchem die in *P* hervorgerufene Spannungsdifferenz auch diesen Widerstand überwindet, und sich durch ein plötzliches, heftiges Ausströmen der Weltgasatome gegen die Oberfläche *O* ausgleicht. Bei einer solchen Entladung können nicht nur einzelne Molecüle der Oberfläche bei *P* mitgerissen werden, sondern es müssen auch die Molecüle des zwischen *P* und *O* liegenden Körpers durch die heftige Strömung

Digitized by Google

in Schwingungen gerathen, so dass derartige Entladungen mit Geräusch und unter Lichterscheinung vor sich gehen können.

§. 36. **Eigenschaften der Elektricität.** Die soeben beschriebenen Zustandsänderungen an den Körpern *K* und *H* (Fig. 16) zeigen eine grosse Aehnlichkeit mit den Erscheinungen der Elektricität. Um aber noch die Gewissheit zu erlangen, ob auch die übrigen durch die elektrische Vertheilung hervorgerufenen Erscheinungen sich auf gleiche Weise erklären lassen, wollen wir die hervorragendsten derselben hier kurz berühren:

Wir haben gesehen, dass der Körper *K* durch blosse Annäherung an *H* in zwei, in ihren Zuständen ganz verschiedene Partien abgetheilt wurde, so zwar, dass das abgewendete Ende *N* die Eigenschaften des frottirten Körpers *H* annahm. Wir erkennen hierin die Erregung der Elektricität durch Influenz und sehen, dass sich an dem elektrisirten Körper zwei Pole mit entgegengesetzten Eigenschaften bilden. *P* bezeichnet hier den positiven, *N* den negativen Pol; denn wenn wir die elektrische Entladung als ein heftiges Ausströmen von Weltgasatomen aus dem Ende *P* betrachte und berücksichtigen, dass die elektrische Strömung in der Regel vom positiven zum negativen Pol übergeht, so haben wir *P* als den positiven Pol zu betrachten. Es sprechen auch noch andere Gründe hiefür, die wohl erst später, bis wir nähere Kenntniss über die Beschaffenheit der Molecüle erlangen, angeführt werden können.

Die beschriebene Polarität muss offenbar auch während der Reibung an dem Reibzeuge entstehen; denn sobald sich während des Reibens die Molecüle an der Oberfläche *O* erweichen, so werden die aus dem Reibzeuge in den Körper *H* strömenden Atome zwischen den weichen Molecülen gleichsam absorbirt, so dass das intermoleculare Weltgas aus dem Reibzeuge in grösserer Menge gegen *O* strömt, als umgekehrt. Während also die Molecüle des frottirten Körpers einander genähert, und durch das sich daselbst verdichtende Weltgas immer mehr und mehr erweicht werden, tritt in der anliegenden Oberfläche des Reibzeuges der entgegengesetzte Zustand ein: die Molecüle treten weiter auseinander, und werden starrer.

Der reibende und der geriebene Körper müssen also stets entgegengesetzte elektrische Zustände zeigen, was in der That auch eintrifft.

Digitized by Google

Wir ersehen ferner aus derselben Erklärung, dass sich der elektrische Zustand durch eine Molecularveränderung an der Oberfläche der Körper kundgibt, und auch dieses stimmt vollkommen mit der durch Versuche nachgewiesenen Eigenschaft der Elektricität überein.

Was endlich die Beschaffenheit der Körper anbelangt, so unterscheidet man gute und schlechte Elektricitätsleiter, und es ist auch bekannt, dass die Erregung der Elektricität durch Reibung nur in einem sehr schlecht leitenden Körper (Harz, Glas, Seide u. dgl.) gelingt, während man zur Ansammlung der Elektricität in einem Conductor einen guten Leiter wählen muss. Auch dieser Umstand findet hier seine Erklärung; denn, damit der veränderte Zustand der Molecüle in *O* eine Zeit lang anhalte, darf das zwischen den Molecülen verdichtete Weltgas nicht sogleich ausströmen, es muss daher der frottirte Körper von solcher Beschaffenheit sein, dass er einen Strom von Weltgasatomen schwer durchlässt.

Ganz anders ist es bei dem Körper *K* (in Fig. 16); hier wird die elektrische Vertheilung erst durch die Strömung im intermolecularen Weltgase hervorgerufen, und es müssen die Molecüle dieses Körpers derart beschaffen sein, dass sie dem Weltgasstrome nicht hindernd entgegentreten.

Ich glaube, dass man schon aus diesen mit der Beobachtung vollends übereinstimmenden Resultaten den Schluss ziehen kann, dass es zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen nicht erst der Annahme eigener imponderabler Stoffe bedürfe. Ich will nun noch darthun, dass man auf gleiche Art auch die Entstehung der Volta'schen Elektricität erklären könne.

§. 37. **Berührungs-Elektricität.** Denken wir uns zwei Körper von verschiedener molecularer Beschaffenheit, (z. B. Zink und Kupfer) an einer Stelle *D* (Fig. 17) innig aneinandergefügt, so dass sie sich in allen Punkten berühren. Der Körper *K* habe weichere, der Körper *Z* aber härtere Molecüle.

Wenn nun auch beide Körper so beschaffen sind, dass durch einen Querschnitt des Körpers *K* in der Zeiteinheit ebensoviele Weltgasatome (a) strömen, als durch den gleichen Querschnitt des Körpers *Z*, so muss sich doch an der Berührungsstelle *B* insoferne eine Aenderung einstellen, als die von *Z* nach *K* übertretenden Atome nun zwischen den weicheren Molecülen in ihrer Bewegung

Digitized by Google

verzögert werden, während jene, die von K nach Z gelangen, nun zwischen den härteren Molecülen eine geringere Verzögerung erfahren, daher sich auch rascher vorwärtsbewegen können.

Haben also früher den Querschnitt eines jeden Körpers nach jeder Richtung hin a Atome passirt, so werden nun, nach der Berührung, in derselben Zeit ziehen:

Im Körper Z, von P nach N, a Atome;
von N nach P, $a + \alpha$ Atome.
Im Körper K, von P nach N $a - \alpha_1$ Atome;
von N nach P, a Atome.

Es wird also in beiden Körpern die Zahl der von N nach P ziehenden Atomen grösser sein, als die Zahl jener Atome, die durch denselben Querschnitt in umgekehrter Richtung strömen.

Wenn wir uns nun denken, dass bei N fortwährend Atome in gleicher Anzahl wie früher zuströmen können, dass also der Körper K nicht mit einem schlecht leitenden Mittel umgeben ist, so muss das isolirt gedachte Ende P jene Eigenschaften annehmen, welche früher als Eigenschaften der positiven Elektricität bezeichnet worden sind: Die in grösserer Zahl ausströmen wollenden Atome werden die Molecüle auseinanderdrängen, und damit die Dichte des intermolecularen Weltgases gegen die Oberfläche zu vermindern.

Würde man sich aber umgekehrt das Ende N mit einem schlecht leitenden Körper (z. B. mit trockener Luft) umgeben denken, dagegen den bei P austretenden Atomen den freien Abfluss, ohne besondere Veränderung in der Molecularstellung gestatten so müsste das Ende N negativ elektrisch werden. — Diese Zustände müssen selbstverständlich so lange andauern, als die beiden Körper bei D in inniger Berührung bleiben, was bei dem bekannten Volta'schen Versuche auch wirklich der Fall ist.

Hieran lassen sich noch folgende Bemerkungen knüpfen: Damit der besprochene Versuch gelinge, müssen die Körper K und Z gute Elektricitätsleiter sein, d. h. Körper in welchen die Weltgasatome zwischen den Molecülen ohne Hinderniss strömen können. Würde man den negativ elektrischen Körper K mit einem Körper L in Berührung bringen, dessen Molecüle noch weicher sind, als jene von K, so müsste K die positive Elektricität zeigen, weil dann die Bewegungsverzögerung im Körper L eintreten, und die

Digitized by Google

elektrische Strömung von *L* nach *K* ziehen möchte. Wenn man daher die Leiter nach der Elasticität ihrer Molecüle derart ordnen würde, dass man nach Körpern mit starren Molecülen allmählich Körper mit etwas weicheren Molecülen folgen liesse, so würde jeder Körper in dieser Reihe mit einem nachfolgenden zusammengestellt positiv elektrisch, mit einem vorausgehenden aber negativ elektrisch werden.

Alle berührten Eigenschaften der strömenden Elektricität stimmen mit den aus der Theorie geschöpften Erwartungen vollkommen überein, und wir gelangen somit zu dem Schlusse: Die Elektricität entsteht durch eine Strömung im Weltgase.

§. 38. **Geschwindigkeit und lebendige Kraft des elektrischen Stromes.** Zu den merkwürdigen Eigenschaften der Elektricität ist auch die grosse Geschwindigkeit, und die ungeheuere Kraft des elektrischen Stromes zu rechnen.

Man hat lange Zeit hindurch die Geschwindigkeit der Elektricität nach Wheatstone, mit 62000 geogr. Meilen angegeben. Erst neuere, genauere Versuche zeigten, dass dieselbe viel geringer ist, und von der Beschaffenheit des leitenden Körpers abhängt So fanden Fizeau und Gounelle dass die Elektricität in einem Kupferdrahte 24400, in einem Eisendrahte aber nur 13600 geogr. Meilen in der Secunde zurücklege, also weit weniger als das Licht.

Diese Zahlen bestätigen neuerdings die Richtigkeit jener Ansichten, welche hier über das Wesen der Elektricität vorgebracht worden sind; denn sobald die Fortpflanzung der Elektricität durch das intermoleculare Weltgas vermittelt wird, so muss die Fortpflanzungsgeschwindigkeit desto geringer ausfallen, je grösser die Bewegungsverzögerung ist, welche die Weltgasatome zwischen den Molecülen zu erleiden haben. Die Geschwindigkeit der sich durch einen festen Körper fortpflanzenden Elektricität wird daher immer kleiner ausfallen müssen, als jene des durch den freien Raum strahlenden Lichtes. Es tritt hier derselbe Grund auf, der früher für die geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes durch dichtere Medien angeführt worden ist.

Was endlich die ungewöhnlich grosse Kraft des elektrischen Funkens anbelangt, so lässt sich auch diese gut begreifen. Wie beträchtlich die durch eine einseitige Strömung im Weltgase ent-

Digitized by Google

stehende Spannungsdifferenz werden kann, lässt sich schon daraus entnehmen, dass einer Vermehrung der Dichte des Weltgases (nach einer Richtung) um ein Tausendtel der Gesammtdichte schon eine Spannkrafts-Differenz von 19 Atmosphären entsprechen muss, wenn wir nämlich die Spannkraft des Weltgases (§. 22) auf 19000 Atmosphären schätzen.

Wäre es möglich, durch irgend eine Vorrichtung die Bewegung der Weltgasatome derart zu lenken, dass sie alle nach einer Richtung strömten, so würde dadurch die intensivste Kraft erzeugt welche überhaupt möglich ist.

Vielleicht sind derlei Strömungen im Weltgase auch die Ursache der Wind- und Wasserhosen; denn es ist nicht denkbar, dass eine in der Luft allein entstehende wirbelförmige Bewegung im Stande wäre, eine Wassermasse auf solche Höhe zu heben, wie es bei Wasserhosen der Fall ist. Dagegen kann man diese Erscheinung, sowie auch die damit verbundene immense Kraftentwicklung ganz gut begreifen, wenn man auch das Weltgas an dieser wirbelförmigen Bewegung theilnehmen lässt, und man wird in dieser Ansicht auch dadurch bestärkt, dass derlei Wind- und Wasserhosen zumeist von elektrischen Entladungen begleitet sind, die auf eine Störung im Gleichgewichte des Weltgases schliessen lassen.

Wir sehen also auf Grund dieser Theorie auch jene gleichzeitig vorkommenden Erscheinungen in Zusammenhang treten, die ihrer Verschiedenartigkeit halber bisher ganz verschiedenen Ursachen zugeschrieben worden sind.

Die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes werden im nächsten Abschnitte zur Sprache gebracht werden.

Digitized by Google

VII.

Die Physik der Molecüle. (Chemie.)

Wir gelangen nun zu dem umfangreichsten, aber man könnte auch sagen interessantesten Theile der Naturlehre: der Chemie. Die Chemie hat uns erst einen tieferen Einblick in die Beschaffenheit der Materie eröffnet, und uns zur Erkenntniss geführt, dass jeder Körper aus getrennten Theilchen, den Molecülen und Atomen bestehe, und dass einer Aenderung in der Beschaffenheit und Zusammensetzung der Molecüle auch eine Aenderung in den Eigenschaften des Körpers entspricht. Man hat durch interessante Versuche nachgewiesen, dass gewisse Körper aus zwei oder mehreren einfachen Körpern zusammengesetzt sind, und dass sie auch in ihre Bestandtheile zerlegt werden können. Man hat nachgewiesen, dass gewisse Körper sich miteinander leicht und gerne verbinden, während es bei anderen nicht der Fall ist; ja dass sogar zusammengesetzte Körper, mit anderen in Berührung gebracht, durch Austausch der Bestandtheile neue Verbindungen bilden, die von den früheren ganz verschiedene Eigenschaften zeigen.

Dennoch hat man die eigentliche Ursache und den inneren Zusammenhang dieser Erscheinungen noch nicht klar ermitteln können, obgleich in dieser Richtung von verschiedenen Seiten schon manche Erklärungsversuche unternommen worden sind. Es blieb auch hier nichts anderes übrig, als wieder zu der Hypothese zu greifen, dass die chemische Affinität der Molecüle einer eigenen Anziehungskraft zuzuschreiben sei, welche von Körper zu Körper verschieden ist, und welche eine chemische Vereinigung der Molecüle bewirken kann.

Wenn wir aber bis hierher im Stande waren, bei der Erklärung der verschiedenartigsten Naturerscheinungen auch ohne

Annahme eigener Anziehungskräfte auszulangen, so ist wohl zu erwarten, dass es auch bei der Erklärung chemischer Vorgänge der Fall sein wird. Indem ich nun den Versuch machen will auch dieses nachzuweisen, muss ich wieder als selbstverständlich voraussetzen, dass es nur in den allgemeinsten Umrissen geschehen kann, so weit es eben der Umfang dieser wissenschaftlichen Skizze gestattet.

§. 39. **Temperatur und Aggregationszustand der Molecüle.** Nachdem die Eigenschaften eines Körpers von der Beschaffenheit seiner Molecüle, und die Eigenschaften der Letzteren wieder von der Beschaffenheit der Molecularatome abhängen, so hat man vor allem die Eigenschaften der Molecüle in ihrer Abhängigkeit von der Masse und Dichte der Atome zu studiren.

Ich habe in §. 15 die Entstehung der Molecüle besprochen, und die letzteren als Aggregate von gebundenen, durch den Druck des umgebenden Weltgases vereinigten Atomen aufgefasst, welche sich bei ihren Begegnungen, so lange sie flüssig sind, zu zweien vereinigen, und sich auf diese Art vergrössern können.

Es wurde dort auch erwähnt, dass diese Vergrösserung mit dem Erstarren der Molecüle ihr Ende finden müsse, und es kommt also darauf an, wann sich dieser Uebergang aus dem flüssigen in den starren Zustand einstellt; Molecüle, die länger flüssig bleiben, können auch zu grösseren Aggregaten anwachsen, als andere die früher erstarren.

Wir haben also zunächst die Temperatur der Molecüle in ihrer Abhängigkeit von der Grösse und Atombeschaffenheit zu ermitteln, und diese Aufgabe findet der Leser im Anhange (9) gelöst. Die Temperatur T, wie sie durch die Formel (35) berechnet werden kann, stellt die mittlere lebendige Kraft eines Molecularatomes vor, welche auch hier als Mass der Temperatur gilt. Diese lebendige Kraft wird den Molecülen durch das Weltgas verliehen, dessen Atome an die Oberfläche des Molecüles anprallen, und dem Letzteren in jedem Zeitmomente eine gewisse Menge von lebendiger Kraft zuführen, die sich dann auf die im Inneren vorhandenen Molecularatome vertheilt. (§. 28.)

Die Temperatur eines Molecüles wird daher nicht blos von der Masse und Dichte der Molecularatome abhängen, sie wird sich auch bei einem und demselben Körper mit der Grösse der Mole-

Digitized by Google

cüle, und mit der zwischen den Molecülen stattfindenden **Verdichtung des Weltgases** ändern.

Dieses ist in Kürze die Idee welche durch die Temperaturformel (35) mathematisch ausgedrückt erscheint. Diese Formel kann daher als der Repräsentant der Grundideen betrachtet werden, auf denen die hier allmählig entwickelte Theorie der Bewegung ruht. Sie bietet uns die beste Gelegenheit die Richtigkeit dieser Theorie auf dem Wege der Rechnung zu prüfen, und gestattet uns einen Einblick in jene Vorgänge, die sich im Innern der Materie abwickeln müssen, damit dieser oder jener Körper von besonderer Beschaffenheit entstehen könne.

Auf welche Art dieselbe verwendet werden kann, will ich an folgenden Beispielen zeigen:

Man pflegt in der Chemie häufig das Wasserstoffgas als Normalkörper bei der Vergleichung der Molecularverhältnisse anderer Körper zu benützen; wir wollen daher auch hier für das Wasserstoffgas:

die Masse eines Atomes $\mu = 1$; die Masse eines Molecüles $m = 1$
„ Dichte „ „ $\varsigma = 1$; „ Dichte „ „ $s = 1$

setzen, und jenen Ausdruck, welcher in der Formel (35) mit K bezeichnet ist vorläufig als constant betrachten, und $K = 0.05$ annehmen.

Denken wir uns nun den Wasserstoff in der früher beschriebenen Weise entstanden. Die Molecüle desselben seien anfänglich viel kleiner gewesen, hätten z. B. die Masse $m = 0{\cdot}25$ gehabt, und diese Masse sei bei dem allmähligen Zusammenfliessen je zweier Molecüle auf 0·5 und 1 angewachsen. Wenn wir mittelst der Formel (35) die Temperatur T für jede einzelne Moleculargrösse berechnen, so erhalten wir folgende relative Zahlen:

Temperatur T eines Wasserstoffmolecüles:

Bei einer Masse $m = 0{\cdot}25$, ist $T = 1{\cdot}6836$
„ „ „ $m = 0{\cdot}5$ „ $T = 1{\cdot}3828$
„ „ „ $m = 1{\cdot}0$ „ $T = 1{\cdot}1920$
„ „ „ $m = 2{\cdot}0$ „ $T = 0{\cdot}9980$

Diese Temperatur nimmt, wie man sieht, mit der Vergrösserung der Molecüle ab, und wenn diese Vergrösserung bei der Masse $m = 1$ ihr Ende gefunden hat, so muss angenommen werden, dass

Digitized by Google

die Schmelztemperatur der Wasserstoffmolecüle zwischen den Werthen: 1·3828 und 1·1920 liegt.

Diese Schmelztemperatur F wird eine Function der Masse μ und Dichte σ der Atome sein, und kann durch die im Anhange entwickelte Formel (36) berechnet werden. Gesetzt den Fall, man hätte die mit γ und β bezeichneten Constanten derart gewählt, dass für $\mu = 1$ und $\sigma = 1$, $\gamma = 0·2006$, und $\beta = 1·0094$ wird, so ist damit auch die Grösse der Wasserstoffmolecüle bestimmt; denn nun würde man für die Schmelztemperatur F den Werth erhalten:

$$F = 1·2100$$

wodurch ausgesprochen ist, dass die Temperatur der Wasserstoffmolecüle bei der Masse 0·5 noch oberhalb der Schmelztemperatur lag, bei der Masse 1 aber unter dieselbe herabsank. Die Wasserstoffmolecüle konnten sich daher bei $m = 0.5$ noch wie tropfbar flüssige Körperchen zu zweien vereinigen; nachdem sie aber einmal die Masse 1 erhalten hatten, konnten sie sich nicht weiter mehr vergrössern.

Betrachten wir nun einen anderen Körper, dessen Atome die Masse und Dichte:

$$\mu = 2; \qquad \sigma = 3·2$$

besitzen, so können wir in ganz ähnlicher Weise, mit Hilfe der Formeln (35) und (36) die Grösse seiner Molecüle berechnen. Die Molecüle dieses Körpers mussten nämlich in jenem Zustande, bei welchem die aus ν Atomen bestehenden Wasserstoffmolecüle die relative Masse $m = 1$ gebildet hatten, bei ebenfalls ν Atomen von doppelter Grösse auch die doppelte Masse $m = 2$ erhalten, und sich hierauf in der früher beschriebenen Weise auf die Masse 4, 8, 16 u. s. w. vergrössert haben.

Die Temperatur T dieser Molecüle stellt sich durch Rechnung in folgender Weise heraus:

Masse des Molecüles m:	*Temperatur T:*
2	0·8142
4	0·6871
8	0·5998
16	0·5505
32	0·5425
u. s. w. . . .	. . . . .

Digitized by Google

Ferner erhält man aus der Formel (36) für die Schmelztemperatur F dieser Molecüle den Werth:

$$F = 0{\cdot}5696$$

Damit ist nun der aus ihnen entstandene Körper bestimmt: denn die Molecüle dieses Körpers, die bei $m = 8$ noch tropfbar flüssig waren, mussten bei der Masse

$$m = 16$$

erstarren, o dass sie **einen gasförmigen Körper von 16mal grösseren Molecülen als jene des Wasserstoffes gebildet hatten.**

Dieser Körper stellt, wie wir uns noch aus den später zu besprechenden Eigenschaften desselben überzeugen werden, das **Sauerstoffgas** vor.

Wir wollen nun die nächsten Verwandten des Sauerstoffes kennen lernen, d. h. jene Körper deren Atome sich nur um ein Geringes von jenen der Sauerstoffatome unterscheiden, von denen man also erwarten kann, dass sie in ihren chemischen Eigenschaften dem Sauerstoffe am nächsten stehen.

Angenommen, ein Körper habe Atome von der Masse $\mu = 2$ und der Dichte $\sigma = 2{\cdot}9$, so ist die Temperatur seiner Molecüle:

bei der Masse m:	*Temperatur T:*
8	0·6515
16	0·6029
32	0·6019
64	0·6653
u. s. w.	

Für die Schmelztemperatur F ergibt sich aus (36) der Werth:

$$F = 0{\cdot}5946$$

also ein Werth, der kleiner ist als alle oben angeführten Temperaturen, und weil T von $m = 32$ an wieder wächst, so bleiben diese Molecüle auch weiterhin noch flüssig, und können sich auch weiter noch vergrössern. Diese Vergrösserung wird, wie uns die Formel (35) selbst sagt, erst dann ihre Grenze erreichen, wenn die gleichzeitig stattfindende Volumabnahme des aus diesen Molecülen gebildeten Körpers den höchsten Grad erreicht hat, jenen Grad, bei welchem sich das intermoleculare Weltgas einer weiteren Verdichtung entgegensetzt. (S. §. 26.)

Digitized by Google

Diese Molecüle bilden daher kein Gas mehr, sondern ein viel dichteres Aggregat: einen flüssigen oder festen Körper, dessen räumliche Ausdehnung nun nicht allein von der lebendigen Kraft seiner Molecüle, sondern in weit höherem Masse von der Spannkraft des intermolecularen Weltgases abhängt.

Hätten wir diese drei Körper bei höherer Temperatur verglichen so müssten wir für K einen etwas kleineren Werth (s. Formel 34) angenommen haben; dann würde die Moleculartemperatur F des zuletzt betrachteten Körpers niedriger ausgefallen sein und es könnten die Molecüle des Dampfes bei der kleinsten Temperatur, d. h. bei einer Masse $m = 32$ ihren Grenzwerth erreicht haben.

Schlagen wir nun in der Tabelle der Moleculargewichte der bekannten einfachen Körper nach, so finden wir dass eine Dampfdichte von 32 beim Schwefel anzutreffen ist.

Dass der Schwefel, obwohl vom Sauerstoff dem Aeusseren nach sehr verschieden, mit diesem dennoch sehr ähnliche chemische Eigenschaften zeigt, ist wohl bekannt; denn er besitzt ebenso wie der Sauerstoff die Fähigkeit, mit anderen Körpern Verbindungen einzugehen, welche bei ähnlicher Zusammensetzung bald den Charakter einer Base, bald jenen einer Säure zeigen, und darnach auch zum Unterschiede von Sauerstoffbasen und Sauerstoffsäuren, Sulfobasen und Sulfosäuren genannt werden.*)

Einen anderen, mit dem Sauerstoffe verwandten Körper könnte man für die Annahme: $\mu = 2$, $\sigma = 3{\cdot}6$ erhalten; derselbe müsste ein Gas vom Moleculargewicht $m = 8$ vorstellen. Ein solches Gas ist nicht bekannt.

In ähnlicher Weise kann man für jede beliebige Annahme der Masse und Dichte der Atome die Beschaffenheit des diesen Atomen entsprechenden Körpers berechnen, und es dürfte diese Auseinandersetzung auch dazu beitragen, die Abhängigkeit des Aggregatszustandes eines Körpers von der Grösse seiner Molecüle richtig auffassen zu lernen.

§. 40. **Die Atombeschaffenheit einfacher Körper.** Ich habe diese Rechnung in ähnlicher Weise für einige der bekanntesten Elemente durchgeführt und die Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

*) Graham-Otto's Lehrbuch der Chemie. II. Band 1 Abth. S. 20.

Digitized by Google

Masse und Dichte der Atome einiger einfachen Körper.

Des Körpers			Der Atome		Der Gas-Molecüle			
Benennung	Zeichen	Dichte	Masse μ	Dichte σ	Masse m	Temperatur T	Schmelz-Temperatur F	Unterschied: U
Wasserstoff	*H*	(0·7)	1	1	1	1·1920	1·2100	—0·0180
Kalium	*K*	0·86	1·22	0·84	39	1·2650	1·2616	+0·0034
Natrium	*Na*	0·97	1·44	1·20	23	1·0403	0·9922	+0·0481
Stickstoff	*N*	(1·7)	1·75	2·5	14	0·6139	0·6553	—0·0414
Phosphor	*P*	1.84	1·93	2·7	31	0·6239	0·6188	+0·0051
Schwefel	*S*	2·00	2·00	2·9	32	0·6019	0·5946	+0·0073
Sauerstoff	*O*	(2·1)	2·00	3·2	16	0·5505	0·5696	—0·0191
Chlor	*Cl*	(1·4)	2·22	3·7	35	0·5152	0·5250	—0·0108
Brom	*Br*	2·97	2·50	4·6	80	0·4733	0·4695	+0·0038
Kohlenstoff	*C*	2—3	3·00	4·2	12	0·6221	0·4695	+0·1526
Silicium	*Si*	2·50	3·50	5·0	28	0·6083	0·4280	+0·1803
Jod	*J*	4 95	3·97	9·0	127	0·3842	0·3480	+0·0362
Quecksilber	*Hg*	13·5	6·25	19·0	100	0·2860	0·2775	+0·0085
Platin	*Pt*	21·2	12·34	34·0	197	0·3140	0·2422	+0·0718

Die Körper sind in der Tabelle nach der Masse und Dichte ihrer Atome geordnet, und es ist daher zu erwarten, dass diese Anordnung auch die Körper von ähnlicher chemischer Beschaffenheit zusammenführen werde.

Dieses ist in der That der Fall; denn wir sehen den Wasserstoff, das Kalium und Natrium, als die elektropositivsten Elemente obenan beisammenstehen, während Schwefel, Sauerstoff und Chlor als stark negative Elemente, sich auch mit Rücksicht auf die ähnliche Beschaffenheit ihrer Atome nahe kommen.

Wir entnehmen aus der Tabelle, dass die Dichte der Atome mit der Dichte des festen oder flüssigen Körper nahezu proportional zunimmt. Die Dichte des Gases oder Dampfes wird durch die Masse der Molecüle m dargestellt. Diese Dampfdichte konnte bei Gasen mit Hilfe der Formel (35) vollständig, bei festen Körpern nur näherungsweise ermittelt werden, so dass bei diesen m auch das Doppelte oder die Hälfte des angeführten Werthes betragen kann.

Der Aggregatszustand kann aus der in der letzten Columne mitgetheilten Differenz U erkannt werden. Ist U negativ, so ist die Temperatur der Gasmolecüle T unter dem Schmelzpunkte; die Molecüle sind daher starr, und bilden ein Gas. Ist U positiv, so findet das Gegentheil statt, die Molecüle können bei gewöhnlicher Temperatur kein Gas, sondern einen flüssigen oder festen Körper bilden. Aus der Grösse des Unterschiedes U kann man auch beiläufig entnehmen, wie weit der betreffende Körper von seinem Siedepunkte (oder Condensationspunkte) entfernt ist.

Damit ein Gas zum Condensationspunkte gelange, muss dasselbe bekanntlich durch Druck oder Abkühlung auf ein kleineres Volumen gebracht werden, (§. 30); dadurch erhält K einen grösseren Werth. — Berechnet man also umgekehrt jenen Werth von K, bei welchem die Temperatur der Molecüle den Schmelzpunkt erreicht, so kann man dadurch die relative Compressibilität der Gase erfahren. So hat man z. B. beim:

Wasserstoff	$U = 0{\cdot}0180$	$k' = 0{\cdot}0552$
Stickstoff	$U = 0{\cdot}0414$	$k' = 0{\cdot}0557$
Sauerstoff	$U = 0{\cdot}0191$	$k' = 0{\cdot}0531$
Chlorgas	$U = 0{\cdot}0108$	$k' = 0{\cdot}0517$

Es würde sich hieraus das Chlorgas als am leichtesten, der Stickstoff am schwersten verdichtbar herausstellen; doch darf man diese

Digitized by Google

Zahlen noch nicht als definitive Resultate, sondern nur als ein Beispiel ansehen, auf welche Art die bezeichnete Eigenschaft durch Rechnung ermittelbar ist.

Die chemischen Eigenschaften der Körper hängen hauptsächlich von der mehr oder weniger leichten Schmelzbarkeit und der Elasticität der Molecüle ab. Die ausführlichere Besprechung dieser Eigenschaften folgt später, und es mag hier nur darauf hingewiesen werden, dass die der Atomgrösse nach geordneten einfachen Körper auch schon zum Theile eine elektrochemische Reihe bilden.

Es muss hier jedoch ausdrücklich hervorgehoben werden, dass die zur Berechnung dieser Tabelle verwendete Formel sich nur auf den Gaszustand der Körper bezieht, wesshalb man mit Hilfe derselben vorläufig nur die Atombeschaffenheit der Gase, oder jener Körper die nicht weit vom Gaszustande entfernt sind, berechnen kann. Auch wurden bei der Rechnung die einfachsten Voraussetzungen gemacht, und alle weniger hervorragenden Einflüsse unberücksichtiget gelassen. So wurde z. B. der Coefficient K (s. Formel m Anhange) als constant betrachtet, während er eine Function der An- und Abprallszeit τ, und des Volumens v des Körpers ist. Das specifische Gewicht s der Molecüle wurde als ein constantes Vielfache der Dichte σ (der Atome) angenommen, während s auch als eine Function der räumlichen Grösse der Atome zu betrachten ist

Man hat daher die in der Tabelle angeführten Zahlen nur als eine erste Annäherung zu betrachten. Ich habe es aus dem Grunde vorgezogen die Formel (35) in ihrem einfachsten Zustande zu verwenden, um durch jene Zahlen zu zeigen, welche Aufschlüsse uns diese Theorie über das Wesen und die Beschaffenheit der Materie zu geben vermag; denn in der Folge wird man wohl den umgekehrten Weg einschlagen müssen, und aus den bekannten Eigenschaften eines Körpers den Schluss auf die Beschaffenheit seiner Molecüle und Atome ziehen.

§. 41. **Chemische Verbindungen.** Die chemische Verbindung unterscheidet sich von der mechanischen Mischung dadurch, dass sich bei der ersteren die Molecüle zweier oder mehrerer Körper zu neuen Molecülen vereinigen, welche dann aus zwei oder mehreren Gattungen von Atomen bestehen, während in einer Mischung die Molecüle der vereinigten Körper ihre frühere Grösse

Digitized by Google

und Beschaffenheit beibehalten. In der Mischung bleiben also die Eigenschaften beider gemengten Körper mehr oder weniger kenntlich, während durch eine chemische Verbindung der neue Körper auch andere, der Beschaffenheit seiner veränderten Molecüle entsprechende Eigenschaften annimmt.

Damit eine chemische Verbindung, — also eine Vereinigung der Molecüle, — stattfinden könne, müssen folgende Bedingungen eintreten:

1. In dem Momente des Zusammenstosses zweier heterogenen Molecüle muss wenigstens eines den tropfbar flüssigen Zustand annehmen.

2. Es muss in demselben Momente zwischen beiden eine solche Strömung in dem intermolecularen Weltgase entstehen, dass dadurch die Atome des einen Molecüles zwischen die Atome des anderen gedrängt werden.

Die erste Bedingung fordert, dass sich die Molecüle des einen Körpers (oder auch beider Körper) nahe am Schmelzpunkte befinden; es wird daher jede Ursache, welche ein Schmelzen der Molecüle herbeiführen kann, wie z. B. die Erwärmung, die Compression, eine elektrische Strömung u. s. w. die chemische Verbindung fördern.

Die zweite Bedingung ist an die Beschaffenheit der Molecüle geknüpft. Bei dem Zusammenstosse zweier Molecüle wird die lebendige Kraft ihrer fortschreitenden Bewegung an die Atome übertragen; diese Atome bewegen sich aber in einem widerstehenden Mittel, dem inneren Weltgase, welches ihnen diese lebendige Kraft bald wieder entzieht, und dieselbe in Form von Wärme den anprallenden Molecülen zurückgibt, wodurch diese in fortschreitender Bewegung wieder auseinanderziehen.

Ist aber von zwei aneinander stossenden Molecülen *H* und *O* (Fig, 19), das eine *H* starrer und schwerer schmelzbar, das andere *O* aber leichter schmelzbar, und wird beim Zusammenstosse *O* tropfbar flüssig während *H* starr bleibt, so werden die Atome in *O* die erhaltene lebendige Kraft entweder gar nicht, oder nur zum Theile zurückgeben, und nachdem sie in fortschreitende Bewegung gerathen sind, so werden sie im Stande sein zwischen die Atome von *H* einzudringen.

Digitized by Google

Es müssen nämlich die aus einem härteren Molecüle *H* in ein weicheres, minder elastisches Molecül *O* strömenden Weltgasatome in dem Letzteren eine Bewegungsverzögerung erleiden und die Abnahme der Spannkraft an der Berührungsstelle wird eine Druckdifferenz zwischen dem inneren und äusseren Weltgase hervorrufen müssen, so dass der äussere Ueberdruck die Molecüle aneinanderpresst. Da aber der Voraussetzung nach *O* flüssig ist, so werden die in fortschreitender Bewegung begriffenen Atome desselben, dem Drucke folgend, ihre Bewegung zwischen die Atome des anderen Molecüles fortsetzen, und sich so mit ihnen vermengen können.

Wir sehen also, dass zur chemischen Verbindung der Molecüle dieselben Vorbedingungen nöthig sind, welche in §. 37 als zur Entstehung eines elektrischen Stromes erforderlich bezeichnet worden sind, ja es ist thatsächlich eine Art von elektrischer Strömung, welche die Atome des einen Molecüles zwischen jene des anderen führt, und wir können nun auch angeben, welche Körper positiv, welche negativ elektrisch wirken müssen.

Atome geringer Dichte, deren Oberfläche im Verhältnisse zur Masse eine grosse ist, werden die ihnen verliehene lebendige Kraft im widerstehenden Mittel bald wieder verlieren müssen, und können schwer in fortschreitende Bewegung versetzt werden. Sie bilden daher ein starres, schwer schmelzbares Molecül, von welchem andere Atome und Molecüle rasch abprallen. — Derlei Molecüle bilden positiv elektrische Körper.

Andere Atome, deren Oberfläche im Verhältnisse zur Masse eine geringe ist, erfahren im Molecüle einen geringeren Widerstand, und können leichter in fortschreitende Bewegung versetzt werden. — Sie bilden daher leichter schmelzbare Molecüle, und gehören vorzugsweise negativ elektrischen Körpern an.

Wir haben nun den Grund vor uns, warum z. B. der Wasserstoff, das Kalium und Natrium zu den elektro-positiven, Schwefel, Sauerstoff und Chlor zu den elektro-negativen Elementen gezählt werden müssen; denn aus der früher (in §. 40) vorgeführten Tabelle entnehmen wir, dass sich die Schmelztemperaturen ihrer Molecüle wie die Zahlen verhalten:

Digitized by Google

(H)	1·2100	(S)	0·5946
(K)	1·2616	(O)	0·5696
(Na)	0·9922	(Cl)	0·5250

Auf ähnliche Art, wie hier die Vereinigung der Molecüle zweier einfachen Körper erklärt worden ist, lassen sich auch die Processe bei den Zersetzungen durch Substitution (durch einfache Wahlverwandtschaft) erklären.

Angenommen, ein einfacher Körper P mit sehr starren (elektro-positiven) Molecülen würde mit einem anderen Körper zusammengebracht, dessen Molecüle aus zweierlei Atomen p und n bestehen, und von denen vorausgesetzt wird, dass die Atome p einem in geringerem Grade elektro-positiven einfachen Körper angehören, während jene n negativ sind.

Die Verbindung np wird, dem Molecule P gegenüber elektronegativ, nnd wenn wir wieder die zu einer chemischen Verbindung nöthigen Voraussetzungen machen, und zwei zusammenprallende Molecüle (Fig. 20) in jenem Momente betrachteten, in welchem das negative Molecül in den flüssigen Zustand gelangt, so ist es klar, dass sich die Atome n und p mit ungleicher Geschwindigkeit zwischen die Atome P bewegen werden. — Die Atome n, die als negativ auch dichter gedacht werden müssen, werden bei der Fortbewegung einem geringeren Widerstande begegnen, und viel leichter und früher zwischen die Atome in P eindringen können als die weniger dichten Atome p, die desshalb auch in der Bewegung zurückbleiben, und sich zu einem einfachen Molecule vereinigen.

Es ist also wieder nur die Bewegung, welche hier als verändernde Ursache auftritt, und man hat es nicht nöthig, jedem Atome eine selbstständige Anziehungskraft beizumessen. — Der beschriebene Vorgang bei der Zersetzung eines Körpers durch Substitution ist in Fig. 20 durch Zeichnung veranschaulicht.

Treffen endlich die Molecüle zweier zusammengesetzten Körper Pp und Nn (Fig. 21, A) zusammen, deren Atome der Spannungsreihe:

$$+ P, p, n, N -$$

angehören, und nimmt man an, dass beim Zusammenstosse beide Molecüle tropfbar flüssig werden, so erhalten aus dem oben genannten Grunde wieder die Atome P die kleinste, N die grösste

Geschwindigkeit, und zwar nach entgegengesetzten Richtungen; denken wir uns der leichteren Vorstellung halber die Atome *P* an ihrem Orte verbleibend, so werden die *p*, welche eine etwas grössere Geschwindigkeit in der Richtung *p* zu *n* erhalten haben, aus dem Molecüle heraustreten, während die mit grösserer entgegengesetzter Geschwindigkeit begabten Atome *N* zwischen die Atome *P* hineinziehen. Es entsteht auf diese Art das Molecül *PN* (Fig. 21, B), während die aus *P* herausgetretenen *p*, und die in ihrer Bewegung von *n* nach *P n* etwas zurückgebliebenen Atome *n* frei werden.

Da nun auch diese in fortschreitender Bewegung begriffenen Atome flüssige Molecüle von verschiedener elektrischer Beschaffenheit bilden, so können sie sich in demselben Momente zu einem neuen Molecüle vereinigen. Es entstehen also zwei neue Körper, mit den Molecülen *PN* und *pn* (Fig. 21, B.).

Wir finden hierin die Erklärung der Verbindungen durch wechselseitige Substitution oder durch doppelte Wahlverwandtschaft.

§. 42. **Die Trennung der Körper durch Elektricität.** Man wird nach dieser Erklärung auch den Vorgang bei der Elektrolyse leicht begreifen können.

Der elektrische Strom, den wir früher als eine Strömung im Weltgase kennen gelernt hatten, geht vom positiven Ende *P* (Fig 22) zum negativen *N* über, und muss zwischen beiden einen schlechteren Leiter, z. B. Wasser, passiren. Jede Strömung im Weltgase hat eine Verdichtung des Letzteren in den zunächstliegenden Partien des Körpers zur Folge und wenn die Molecüle durch die ihren Atomen zugeführte lebendige Kraft flüssig geworden sind, so werden ihre Atome vom Strome in der Richtung von *P* nach *N* mitgerissen.

Es ist nun wieder nicht anders möglich, als dass die leichtesten Atome von der Strömung auch am stärksten erfasst werden, während die dichteren Atome, bei welchen das Verhältniss der Oberfläche zur Masse ein geringeres ist, in der Bewegung zurückbleiben.

Es werden also z. B. bei der Elektrolyse des Wassers die specifisch leichteren Atome des (positiven) Wasserstoffes *H* das negative Polende *N* früher erreichen, als die specifisch dichteren Atome des Sauerstoffes. Dadurch wird gleichsam eine Trennung

der in den Molecülen vereinigt gewesenen Atome bewirkt, und es verbinden sich die frei gewordenen Sauerstoffatome des vorangehenden Molecules mit den Wasserstoffatomen des nachfolgenden Molecüles, und nur an dem Pole *P*, wenn dieser aus einem indifferenten Körper besteht, kann der Sauerstoff keine Verbindung eingehen, und wird frei; während sich aus dem ähnlichen Grunde am negativen Pole *N* der Wasserstoff ausscheidet.

Diese Erklärung der Elektrolyse stimmt dem Wesen nach, mit jener überein, die gewöhnlich in den Lehrbüchern dafür angegeben wird; nur hat man hier Gelegenheit auch den Grund einzusehen, warum sich die Bestandtheile eines jeden im Strome befindlichen Molecüles trennen, und so auseinandertreten, dass die positiven Molecüle zum negativen, und die negativen Molecüle zum positiven Pole wandern.

§. 43. **Absorption der Gase in Flüssigkeiten.** Es wurde schon in §. 12 die Ursache besprochen, welche das Einströmen eines Gases zwischen die Molecüle eines flüssigen oder festen Körpers, und eine Verdichtung desselben bewirkt. Dabei konnte man allerdings nur von Gasen mit untheilbaren Molecülen sprechen. Es frägt sich nun, welche Erscheinungen sich bei der Absorption einstellen können, wenn man auch auf die nun bekannt gewordenen Eigenschaften der Molecüle verschiedener Körper Rücksicht nimmt.

Die Molecüle eines Gases sind in fortschreitender Bewegung begriffen, und können daher auch zwischen die nicht aneinander liegenden Molecüle von Flüssigkeiten gelangen. Nachdem sich aber zwischen den Letzteren auch noch das Weltgas in bedeutend verdichtetem Zustande vorfindet, so ist es begreiflich, dass die Gasmolecüle nicht mit jener Leichtigkeit in die Flüssigkeit einströmen können, wie es z. B. bei den Atomen des Weltgases der Fall ist, denen kein anderes Gas hinderlich im Wege steht.

Ist aber ein Gasmolecül dennoch zwischen die Molecüle der Flüssigkeit gelangt, so ist es nun von einer ganz anderen, viel dichteren Weltgas-Atmosphäre umgeben. Die Temperatur desselben wird bedeutend erhöht, und wenn diese Erwärmung hinreichend gross ist, um das Molecül zu schmelzen, so kann sich dasselbe mit anderen nachströmenden Gasmolecülen, welche in gleicher Weise tropfbar flüssig werden, zu neuen, grösseren Molecülen vereinigen: das

Digitized by Google

Gas wird also im Inneren des Körpers zu einer Flüssigkeit verdichtet. (Vergl. §. 30.)

In dem Masse aber, als die Verdichtung fortschreitet, muss auch ein stärkeres Zuströmen von Weltgasatomen eintreten, wodurh die Molecüle des äusseren Gases mitgerissen, und in das Innere der Flüssigkeit hineingedrängt werden.

Hiedurch lassen sich auch alle bei der Absorption beobachteten Erscheinungen erklären, von welchen ich nur einige hier anführen will:

Je leichter verdichtbar ein Gas ist, in desto stärkerem Masse wird es in der Regel von Flüssigkeiten absorbirt. Permanente Gase müssen also am schwächsten, Dämpfe am stärksten absorbirt werden. Dieses ist bekanntlich auch der Fall. Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff werden vom Wasser nur in sehr geringer, Kohlensäure, Chlorgas, Ammoniak in sehr grosser Quantität verschluckt. Allerdings hat auch die chemische Beschaffenheit des Gases auf diese Quantität einen Einfluss, und es liessen sich, mit Rücksicht auf die früher besprochenen Eigenschaften der Molecüle auch jene Gase bezeichnen, welche vermöge ihrer Atombeschaffenheit von bestimmten Flüssigkeiten mehr oder weniger absorbirt werden können.

Je mehr ein Gas dem Condensationspunkte genähert wird, in desto grösserem Masse muss es die Fähigkeit erlangen, von flüssigen Körpern aufgenommen und verdichtet zu werden. Es wird daher eine **Compression oder Abkühlung** die Absorption **befördern**, eine **Druckabnahme** oder **Erwärmung** die Absorption **vermindern.** (§. 30.)

Auch diese Eigenthümlichkeit der Absorption ist durch Beobachtung constatirt worden, und es blieb bisher ganz unerklärt, warum z. B. die Erwärmung die Absorptionskraft einer Flüssigkeit **abschwäche**; während wir diese Erscheinung mit der oben gegebenen Erklärung in vollstem Einklange finden.

Auf ähnliche Art lässt sich auch die chemische Einwirkung der Gase auf flüssige und feste Körper erklären, welche bisweilen in heftiger, stürmischer Weise vor sich geht; nur muss angenommen werden, dass die in den Körper dringenden Gasmolecüle sich in dem Momente ihres Flüssigwerdens mit den Molecülen des Körpers auf die früher beschriebene Art verbinden.

Digitized by Google

§. 44. **Allotrope Zustände. Das Ozon.** Ich habe bisher der einfachen Betrachtung halber stets vorausgesetzt, dass sich die entstehenden flüssigen Molecüle je zwei und zwei vereinigen, und so zu Molecülen von doppelter, 4facher, 8facher u. s. w. Grösse anwachsen, bis sie die Erstarrung an der weiteren Vergrösserung hindert.

Im Durchschnitte muss auch die Bildung der Molecüle in dieser Weise erfolgen, indem sich in der Regel nur Molecüle gleicher Masse, von denen man also voraussetzen kann, dass sie auch gleiche Geschwindigkeit besitzen, bei der centralen, unter beliebigem Winkel stattfindenden Begegnung vereinigen, und mit der resultirenden Geschwindigkeit weiterziehen können; dennoch ist dabei nicht ausgeschlossen, dass sich ausnahmsweise auch kleinere Molecüle, die noch nicht die volle lebendige Kraft erlangt haben, mit grösseren Molecülen von grösserer lebendiger Kraft vereinigen können. Es ist nämlich auch der früher abgeleitete Satz, dass die allmählig anwachsenden Molecüle stets die lebendige Kraft eines Atomes erhalten, (s. Anhang Nr. 2) als ein Durchschnitts-Resultat, und die daraus folgende Eigengeschwindigkeit der Molecüle nur als ein Mittelwerth zu betrachten.

Wir müssen demnach nicht ausser Acht lassen, dass die früher mit Hilfe der Formeln (35) und (36) berechnete Masse der Molecüle nur einen Durchschnittswerth vorstellt, und dass in dem Körper zwischen gewissen Grenzen auch alle möglichen Grössenabstufungen einer und derselben Moleculargattung vorhanden sein können.

Je nachdem nun diese Grenzen näher beisammenliegen oder weiter auseinandertreten, wird auch die chemische Beschaffenheit des Körpers verschieden sein können, wie ich sogleich nachweisen will:

Die Molecüle des Sauerstoffes sind, wie in §. 39 besprochen wurde, bei der Masse $m = 8$ noch tropfbar flüssig; denn ihre Temperatur T hat den Werth: 0·5998, während die Schmelztemperatur tiefer liegt, und zwar:

$$F = 0{\cdot}5696$$

beträgt. Verfolgen wir nun die Temperatur T wie sie sich bei den aufeinander folgenden Grössenabstufungen der Sauerstoffmolecüle herausstellt, so erhalten wir folgende Zahlen:

Digitized by Google

Der Sauerstoffmolecüle:

Masse m	*Temperatur T*	*Unterschied U = T — F*	
8	0·5998	+ 0·0302	flüssige Molecüle
11	0·5723	+ 0·0027	
12	0·5667	— 0·0029	Antozon
13	0·5611	— 0.0085	
16	0·5505	— 0·0191	inactiver Sauerstoff
19	0·5441	— 0·0255	
22	0 5411	— 0·0285	
25	0·5406	— 0·0290	
30	0·5414	— 0·0282	
35	0·5452	— 0·0244	
40	0·5509	— 0·0187	
50	0·5651	— 0·0045	Ozon
52	0·5684	— 0·0012	
55	0·5736	+ 0·0043	flüssige Molecüle.

Bis zur Masse $m = 11$ sind die Molecüle flüssig; sie können also mit einer Masse die kleiner als 11 ist, nicht dauernd bestehen. Von $m = 11·5$ bis $m = 52$ können aber alle möglichen Grössenabstufungen der Sauerstoffmolecüle vorkommen, und diese lassen sich wieder in 3 Gruppen abtheilen:

1. in Molecüle die eine kleinere Masse als 16 haben und sehr nahe am Schmelzpunkte stehen. Diese Molecüle müssen, eben der letzteren Eigenschaft wegen, mit den Molecülen anderer (positiver) Körper sehr leicht Verbindungen eingehen, sie gehören demnach zum activen Sauerstoff.

2. In Molecüle mit der Masse zwischen 13 und 40, welche weit vom Schmelzpunkte entfernt liegen, daher in diesem Zustande auch keine Verbindungen eingehen können; dieselben bilden den inactiven Sauerstoff.

3. In Molecüle, welche eine bedeutend grössere Masse (50 bis 52) haben und nahe am Schmelzpunkte liegen. Diese Molecüle gehören zwar auch zum activen Sauerstoff, weil sie in diesem Zustande sehr leicht Verbindungen bilden können; doch müssen sie zufolge ihrer nahezu 4mal grösseren Masse auch andere Eigenschaften zeigen, u. zw. Eigenschaften die jenen des Chlorgases ähnlich sind; denn auch die Chlormolecüle haben eine bedeutend grosse Masse ($m = 35·2$) und sind nahe am Schmelzpunkte. Wenn

Digitized by Google

zwei Molecüle des activen Sauerstoffes, das eine von der Masse 12, das andere z. B. von der Masse 51 zusammenstossen, und wir annehmen, dass beide Molecüle gleich weit vom Schmelzpunkte entfernt sind, so würden die grösseren Molecüle an der Stelle des Zusammenstosses eher schmelzen als die kleineren; indem die Letzteren mit grösserer Geschwindigkeit einherziehen, und auf eine gleich grosse Anzahl von Atomen des anderen grösseren Molecüles eine grössere lebendige Kraft beim Zusammenstosse übertragen.

Wenn wir also diese zwei Gattungen von Molecülen, welche den activen Sauerstoff bilden, einander gegenüberstellen, so müssen die kleineren Molecüle den grösseren gegenüber elektro-positive Eigenschaften zeigen, und wir können sie demnach als jene Modification des Sauerstoffes betrachten, welcher man allgemein den Namen Antozon gegeben hat.

Die grösseren Molecüle des activen Sauerstoffes, welche in ihrer Beschaffenheit jenen des Chlors nahe kommen, würden dann das Ozon (Θ) bilden.

Man wird auch den Grund einsehen, warum z. B. ein elektrischer Funke im Sauerstoffe Ozon und Antozon erzeugen kann. Die elektrische Entladung bewirkt ein Schmelzen der Molecüle in der Richtung des Stromes. Die flüssigen Molecüle begegnen den festen, und können sich mit diesen nun zu grösseren Molecülen vereinigen, während bei nicht centralen Zusammenstössen die flüssige Masse einzelner Molecüle vermindert wird. Dadurch entstehen Molecüle von verschiedenen Grössenabstufungen, so wie sie oben durch das Zahlenbeispiel vorgeführt worden sind.

Die extremen Werthe der Moleculargrössen, bei welchen die Molecüle den activen Sauerstoff bilden, können sich aber nicht lange in demselben Zustande erhalten; denn die kleineren nahe am Schmelzpunkte befindlichen Molecüle sind geneigt sich bei Zusammenstössen mit anderen Molecülen, oder mit Theilen derselben zu verbinden, und die grössten Molecüle werden von den kleineren beim Zusammenstosse so lange verkleinert, bis sich die Masse und Geschwindigkeit bei allen nahe gleichgestellt hat. Dass sich dieser Ausgleich viel schneller einstellen muss, wenn das ozonisirte Gas erhitzt wird, ist klar; denn die Molecüle werden ihrem Schmelzpunkte rasch näher geführt, und die Geschwindigkeit derselben wird erhöht, so dass sie mit grösserer Kraft zusammen-

Digitized by Google

stossen, und sich in Bezug auf ihre Grösse früher ausgleichen können.

Dieses alles stimmt mit den bekannten Eigenthümlichkeiten des Sauerstoffgases überein, ja selbst die von Andrews und Tait beobachtete Volumverminderung beim Ozonisiren findet hierin ihre Erklärung; indem die Molecüle des ozonisirten Sauerstoffes, wie man aus den früher vorgeführten Zahlen ersieht, eine grössere mittlere Masse erhalten, daher bei gleicher Spannung ein dichteres Gas bilden, als der gewöhnliche Sauerstoff *). Es frägt sich nun noch ob auch andere Gase ähnliche Modificationen bilden können.

Wenn man dieselbe Rechnung, die ich hier für den Sauerstoff gemacht habe, auch beim Stickstoffe und dem Chlorgase durchführt, so erhält man folgendes Resultat:

Die Masse der festen Stickstoffmolecüle kann zwischen den Grenzen: $m_2 = 7{\cdot}5$ und $m_1 = 49$ liegen.

Die Differenz $m_1 - m_2 = 41{\cdot}5$ ist mit Rücksicht auf die durchschnittlich kleinere Grösse der Stickstoffmolecüle ($m = 14$), grösser als beim Sauerstoffe.

Es ist daher auch anzunehmen, dass sich ein so bedeutender Unterschied in der Grösse der Molecüle seltener herausstellen wird, und dass er sich auch nicht so lange erhalten kann, als beim Sauerstoffe.

Die Molecüle des Chlorgases können zwischen den Werthen: $m = 18$ und $m_1 = 47$ schwanken. Wenn wir auch hier wieder die Differenz $m_1 - m_2$ bilden, und dieselbe durch die mittlere Masse (35·2) dividiren, so erhalten wir:

$$\text{beim Chlorgase: } \frac{47-18}{35{\cdot}2} = 0{\cdot}82$$

$$\text{,, Sauerstoff; } \frac{52-11{\cdot}5}{16} = 2{\cdot}53$$

$$\text{,, Stickstoff: } \frac{49-7{\cdot}5}{14} = 2{\cdot}96$$

Es kann also bei allen 3 genannten Gasen dieselbe Modification eintreten; nur ist beim Chlor der Unterschied in den Moleculargrössen des activen Gases ein verhältnismässig geringer, so dass die zwei activen Modificationen keine wesentlich verschiedenen Eigen-

*) Man vergl. die Beschreibung des activen Sauerstoffes in Graham-Otto's Lehrbuch der Chemie. II. Bd. 1. Abth. S. 182.

Digitized by Google

schaften aufweisen können. Beim Stickstoff aber treten die Grenzwerthe der Molecularmasse so weit auseinander, dass es sehr fraglich ist, ob durch den elektrischen Strom auch negativ-active Molecüle (Masse circa = 49) entstehen können.

Aehnliche Modificationen in der Moleculargrösse müssen aber auch vielen anderen Körpern eigen sein, und man muss wohl annehmen, dass z. B. gesättigte Dämpfe von flüssigen und festen Körpern nur der ungleichen Grösse der Molecüle ihre Entstehung verdanken. Auch die bekannten allotropen Zustände, wie sie beim Schwefel, Phosphor und bei der Kohle vorkommen, können durch die ungleiche Grösse der Molecüle erklärt werden, und es deuten schon die bei der Umwandlung eines Zustandes in einen anderen stattfindenden Aenderungen im specifischen Gewichte, das Freiwerden von Wärme u. d. gl. auf eine Veränderung in der Moleculargrösse hin.

Auch diese Zustände werden sich deutlich erklären lassen, sobald man die für den Gaszustand geltenden Formeln (35) und (36) vervollständiget haben wird, so dass sie auch zur Berechnung der Moleculargrösse bei flüssigen und festen Körpern dienen können.

Vorläufig mögen diese Andeutungen genügen, um dem Leser zu zeigen, auf welche Art diese mechanische Theorie der chemischen Verbindungen uns Vorgänge im Inneren der Körper zu erklären vermag, und dass wir in der That berechtiget sind, nur eine Gattung der Materie im Raume vorauszusetzen, deren Elemente sich nur durch die Masse und Dichte von einander unterscheiden.

Digitized by Google

VIII.

Ein Natursistem auf einfachster Grundlage.

Dass die Naturlehre trotz ihrer sehr vorgeschrittenen Ausbildung noch nicht jene feste Grundlage besitzt, welche gerade bei dieser wichtigen und interessanten Wissenschaft wünschenswerth wäre, kann nicht leicht in Abrede gestellt werden; es fehlt uns noch die Kenntniss jenes geistigen Bandes, welches alle die verschiedenartigsten Naturerscheinungen zu einem einheitlichen Ganzen verbinden könnte.

Ich habe hier in übersichtlicher Darstellung ein anderes Sistem entwickelt, welches in vielen Punkten von den allgemein herrschenden Ansichten über das Wesen der Naturveränderungen bedeutend abweicht, und ich glaube nun auch jene Ideen kurz zusammenfassen zu sollen, welche mich dabei geleitet hatten.

§. 45. **Raum, Materie und Bewegung.** Jeder neue Versuch, die Physik auf eine andere Grundlage zu stellen, begegnet in der wissenschaftlichen Welt häufig einem gewissen Misstrauen, und das nicht mit Unrecht. Es scheint, als ob dieses Misstrauen hauptsächlich durch den mitunter zu weit gehenden Gebrauch hervorgerufen wäre, zur Erklärung der Naturerscheinungen *neue Hypothesen* aufzustellen, Hypothesen, die oft das Unbekannte auf etwas noch weniger Bekanntes zurückführen.

Wer also eine Reform in dieser Richtung anstreben will, muss vor allem jeder neuen, unbegründeten Hypothese aus dem Wege gehen, und da entsteht dann die Frage: *Was können wir überhaupt als unzweifelhaft bestehend annehmen, und einer Theorie zu Grunde legen?*

Meiner Ansicht nach sind es nur drei Dinge oder Begriffe, über deren Existenz kein Zweifel obwalten kann: Der *Raum*, die *Materie* und die *Bewegung*.

Digitized by Google

Es steht gewiss ausser Zweifel, dass in der Natur ein Etwas vorhanden ist, was auf uns einen Eindruck macht, und aus dem alle Körper bestehen; dieses Etwas nennen wir Materie.

Soll aber die Materie überhaupt existiren können, so muss auch ein Ort da sein, in welchem sie vorhanden ist, und diesen Ort nennen wir Raum.

Wir sehen endlich die Theile der Materie ihren Ort im Raume wechseln, sie sind daher in Bewegung.

Diese drei Urbegriffe sind von einander derart verschieden, dass niemals die Materie in einen Raum, oder dieser in Bewegung verwandelt werden kann. Anders ist es dagegen mit dem Begriffe einer Kraft; denn eine Momentankraft wird durch das Product aus der Masse in die Geschwindigkeit gemessen, welches Product auch den Namen: Grösse der Bewegung führt, und nachdem continuirliche Kräfte in der Mechanik als eine Reihe von nacheinander wirkenden Momentankräften betrachtet werden, so stellen Kraft und Bewegung nur verschiedene Ausdrücke für eine und dieselbe Ursache dar.

Dasselbe gilt auch von dem Ausdrucke „lebendige Kraft" der uns nur das Mass jener Wirkung vorstellt, welche die einer Masse ertheilte Bewegung hervorbringen kann.

Wir können daher die Kraft nicht als etwas für sich bestehendes, von Raum, Materie und Bewegung verschiedenes betrachten, und sobald dieses zugegeben wird, muss auch die Annahme eigener Anziehungs- und Abstossungskräfte fallen gelassen werden.

Was endlich den Begriff „Zeit" anbelangt, so kann die Letztere auch als eine blosse Verhältnisszahl aufgefasst werden; denn bekanntlich wird die Zeit durch den Quotienten aus der Geschwindigkeit in den zurückgelegten Weg gemessen, und nachdem die Geschwindigkeit ein Mass der Bewegung vorstellt, so stellt auch die Zeit nur das Verhältniss des Raumes zur Bewegung dar.

Andere, von diesen verschiedene Erscheinungsursachen, wie z. B. eigene Kräfte, besondere imponderable Materien und Medien, u. d. g. in der Natur zu vermuthen, wäre man erst dann berechtiget, wenn klar und unzweifelhaft dargethan wäre, dass die früher genannten Urbegriffe allein nicht hinreichen, um alle Naturerscheinungen erklären zu können.

Digitized by Google

Diese Frage zu entscheiden, war der Zweck der vorliegenden Abhandlung, und wir erhielten als Resultat die überraschende Antwort: dass es nicht nur möglich sei, sämmtliche Erscheinungen auf die Wirkungen der Bewegung, als letzte Grundursache, zurückzuführen, sondern dass man dadurch auch zur Erklärung so mancher Naturerscheinung gelangt, die auf Grund der bisherigen Annahmen nur unvollständig oder gar nicht erklärt werden konnte.

§. 46. **Uebersichtliche Darstellung eines Natursistems auf einfachster Grundlage.** Die Theorie der Bewegung, wie ich sie hier allmählig entwickelt habe, stützt sich auf die geringste Zahl von Voraussetzungen, die überhaupt gemacht werden können; sie stellt uns daher auch ein Sistem der Naturlehre auf einfachster Grundlage vor.

Dieses Sistem lässt sich in seinen allgemeinen Umrissen in folgender Weise kennzeichnen:

1. Die den Weltraum erfüllende Materie besteht in ihren Elementen aus äusserst kleinen Theilchen, oder Atomen von verschiedener aber unveränderlicher Grösse und Dichte; diese Theilchen üben aufeinander keine Fernwirkung aus.

2. Die eigentlich verändernde Ursache ist die Bewegung; dieselbe kann durch den Stoss von einem Atome auf ein anderes übertragen werden, welche Uebertragung nach den bekannten Gesetzen über den Stoss vollkommen elastischer Körper geschieht.

3. Durch die Bewegung wurde die Materie in drei Hauptgruppen abgetheilt: in freie Atome, in Molecüle und Körper.

Die freien, in allgemeiner Bewegung begriffenen Atome bilden ein alle Räume durchdringendes äusserst feines und elastisches Gas (Weltgas oder Aether) welches durch seine Spannkraft die Atome im Molecüle, und die Molecüle im Körper zusammenhält.

4. Die Bestandtheile der Molecüle sowie auch die Bestandtheile der Körper liegen nicht unmittelbar an einander, sondern sind durch Zwischenräume getrennt. Diese Zwischenräume werden vom Weltgase ausgefüllt, welches sich daselbst, in Folge der Bewegungsverzögerung seiner Atome, verdichtet.

5. Das Weltgas, dessen Atome eine ungeheuere Geschwindigkeit (63000 g. Meilen p. S.) besitzen, enthält eine sehr grosse

Digitized by Google

lebendige Kraft, und äussert sich in folgender Weise durch seine Wirkungen:

a) Die Bewegungsverzögerung, welche die Atome desselben zwischen den Molecülen eines Körpers erfahren, wird die Ursache einer Spannkrafts-Differenz, welche bestrebt ist, die Molecüle, so wie auch die Körper einander zu nähern. Wir nennen dieses Bestreben bei den Molecülen Adhäsion und Cohäsion, bei Körpern aber Schwere.

b) Die lebendige Kraft der Weltgasatome erhält die Atome im Molecüle, und die Molecüle in einem Körper in steter Bewegung; sie wird auf diese Art die Ursache der Wärme.

c) Die vibrirende Bewegung der Molecularatome wird durch Schwingungen im Weltgase auf grössere Entfernungen fortgepflanzt, und äussert sich dadurch theils als Licht, theils als strahlende Wärme.

d) Eine Störung in dem Gleichgewichte des intermolecularen Weltgases, hervorgerufen durch die ungleiche Elasticität der Molecüle, ist im Stande, in dem Körper eine Strömung und gleichzeitig eine Veränderung in der Molecularbeschaffenheit der Oberfläche des Körpers hervorzubringen; sie wird auf diese Art die Ursache der Elektricität.

6. Die Veränderungen in der Dichte des intermolecularen Weltgases können auch Veränderungen in der Grösse und Beschaffenheit der Molecüle bewirken. Die Molecüle eines Körpers können sich entweder in kleinere Aggregate zertheilen, oder je zwei und zwei zu neuen Molecülen vereinigen. Mit derlei Aenderungen ist in der Regel auch eine Aenderung in dem Aggregatszustande des Körpers verbunden.

7. Die Spannungsdifferenz im Weltgase, welche zwischen Molecülen von verschiedener Beschaffenheit (Elasticität) entsteht, ist im Stande die Atome eines Molecüles zwischen die Atome eines anderen Molecüles zu drängen, und wird die Ursache der chemischen Verbindungen.

§. 47. **Schlussbemerkungen.** Durch die wichtige Entdeckung Dr. Mayer's, dass die Wärme ihren Ursprung nicht einem eigenen Stoffe, dem Wärmestoffe, verdanke, sondern als eine Art von Bewegung aufzufassen sei, wurde die Grundlage der gegenwärtigen Naturerklärung auf das bedenklichste erschüttert. Mit dem

Digitized by Google

Entstehen und der weiteren Entwicklung der mechanischen Wärmetheorie trat ein förmlicher Umschwung in den herrschenden Ansichten über das Wesen der sogenannten Imponderabilien ein, und hervorragende Physiker wie Grove, De la Rive, u. a. sprachen es offen aus, dass Licht, Wärme, Elektricität, Magnetismus und chemische Wirkung in einander überführbare Thätigkeitszustände sind, und dass sie somit als Wirkungen einer gemeinsamen Ursache betrachtet werden müssen.

Es fehlte auch nicht an Versuchen, diese Erscheinungsformen einer ähnlichen Behandlung zu unterziehen, wie es bei der mechanischen Theorie der Wärme möglich geworden ist. Man begann eingehender die Beschaffenheit der Materie in ihren verschiedenen Formen zu studiren, und man wäre vielleicht dem angestrebten Ziele schon viel näher gerückt, wenn man sich entschlossen hätte, die noch immer beibehaltenen Begriffe eigener Anziehungs- und Abstossungskräfte fallen zu lassen.

Diese Kräfte bildeten die Klippe, an der alle derartigen Bemühungen scheiterten; obwohl es anderseits auch begreiflich erscheint, dass man die Annahme einer den Theilchen der Materie eigenen Anziehungskraft nicht früher aufgeben konnte, ehe es nicht gelungen war, die darauf zurückgeführten Erscheinungen auf eine andere Art zu erklären.

Diese Aufgabe nun findet der Leser hier gelöst. — Das, was wir bisher als die Wirkung einer Anziehungskraft betrachtet hatten, lässt sich auch als eine Wirkung der in allgemeiner Bewegung begriffenen kleinsten Theile der Materie (der Atome) auf grössere Massen ansehen, vorausgesetzt, dass die Uebertragung der Bewegung von einem Theile der Materie auf einen anderen Theil eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt.

Hierin liegt nun auch der Schlüssel zur Lösung des ganzen Problemes. Das aus den kleinsten Theilchen der Materie gebildete Gas, welches der ersten Wirkung der Bewegung seine Entstehung verdankt, bildet nun das eigentlich bewegende und verändernde Element in der Natur. Dieses Gas, welches längst schon unter dem Namen „Aether“ in der Wissenschaft gekannt war, dient nicht allein zur Erklärung der Schwere, es übernimmt auch die Functionen des Lichtäthers, des elektrischen Fluidums, und der verschiedenartigen chemischen Anziehungskräfte.

Digitized by Google

Alle Erscheinungen werden auf eine und dieselbe Ursache zurückgeführt: auf die zwischen den Atomen durch einen Stoss hervorgerufene und durch den Stoss sich weiter fortpflanzende geradlinige, allgemeine Bewegung.

Wenn ich dem das Weltall erfüllenden Atomengase nicht sogleich den Namen „Aether" beilegte, so geschah es nur aus dem Grunde, weil ich die Identität desselben mit dem Welt- oder Lichtäther nicht willkürlich annehmen konnte, sondern erst beweisen musste, was im Verlaufe dieser Abhandlung erst an einem späteren Orte möglich geworden ist. Es ist auch bemerkenswerth, dass jene Untersuchungen, welche ursprünglich nur zu dem Zwecke dienen sollten, um die Schwerkraft als eine Wirkung der Bewegung darzustellen, auch schon zur Erkenntniss der Beschaffenheit des Aethers und des elektrischen Fluidums führten. Ich habe es desshalb auch vorgezogen, die Ideen in jener Reihenfolge zu veröffentlichen, wie sie sich mir von selbst darboten, wenngleich dadurch so manches an einem früheren Orte besprochene unvollständig bleiben, und später ergänzt werden müsste. Es gilt dieses namentlich von allen jenen Erscheinungen, die ganz oder theilweise in der besonderen Beschaffenheit der Molecüle ihre vollständige Erklärung finden, wie z. B. die Veränderungen des Aggregatszustandes, die Erklärung der Adhäsion und Cohäsion, bei welcher gewiss auch die Beschaffenheit der Molecüle zu berücksichtigen wäre *).

Indem ich diese Ideen der Oeffentlichkeit übergebe, bin ich weit davon entfernt, dieselben für vollkommen, und nach allen Seiten hin abgeschlossen zu betrachten; denn, wenn auch der Grundgedanke des hier entwickelten Natursistems richtig ist, so war ich gegenwärtig doch nicht in der Lage, mehr als einen Entwurf davon zu liefern.

Mögen also diese Ideen, nachdem sie geprüft, verbessert und erweitert worden sind, dazu beitragen, dass die Naturlehre endlich zu jener einheitlichen Grundlage gelange, welche derselben nach der übereinstimmenden Ansicht der Träger dieser Wissenschaft bisher noch mangelt.

---

*) Die Herausgabe der I. Abtheilung fiel überdiess in eine Zeit, in der andere Berufsgeschäfte eine sorgfältige Sichtung des vorhandenen Materiales unmöglich machten. Es erscheint daher in derselben Einzelnes aufgenommen, was vielleicht besser wegzulassen gewesen wäre.

Digitized by Google

Anhang.

Um den Text der vorliegenden Abhandlung nicht zu oft durch Anmerkungen unterbrechen zu müssen, habe ich es vorgezogen, die zur Erläuterung und Begründung der einzelnen Sätze unumgänglich nöthigen mathematischen Ableitungen hier in Form eines Anhanges zusammenzustellen.

Nr. 1. (Zu §. 14. Fortpflanzung des Stosses) Eine vollkommen elastische Kugel K vom Halbmesser r (Fig. 10 Tafel II.) bewegt sich gleichförmig mit der Geschwindigkeit c in der Richtung AK, und begegnet einer ruhenden Kugel K_1 von gleicher Grösse, unter dem Winkel α der Centrallinie KK_1 mit der Richtung der Bewegung AK. Nach dem Zusammenstosse wird sich K in der Richtung Kc_2, mit der Geschwindigkeit:

$$c_2 = c \sin \alpha$$

die Kugel K_1 aber in der Richtung K_1c_1, mit der Geschwindigkeit:

$$c_1 = c \cos \alpha$$

vorwärtsbewegen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass sich diese zwei Kugeln unter dem Winkel α treffen, kann auf folgende Weise berechnet werden:

Wäre an der Stelle der ruhenden Kugel K_1 eine kreisförmige Scheibe S vom Halbmesser $2r$, senkrecht zur Richtung AK gestellt, (Fig. 11), so würde jedes Flächenelement derselben gleiche Wahrscheinlichkeit besitzen, von der parallel zur Richtung AK einherziehenden Kugel getroffen zu werden.

Es wird daher die Wahrscheinlichkeit, dass sich die beiden Kugeln innerhalb eines konischen Winkelraumes vom Halbmesser α und $\alpha + d\alpha$ treffen, gleich sein dem Quotienten aus der Zahl der diesem Ereignisse günstigen Fälle, zur Zahl aller möglichen Fälle. Dieser Quotient ist in diesem Falle gleich dem Verhältnisse aus

der ringförmigen Fläche vom Radius $2r \sin\alpha$, und der Breite $2rd\alpha$, zur ganzen Fläche der Scheibe S, d. h. es ist die Wahrscheinlichkeit dieses Ereignisses:

$$\frac{dw}{d\alpha} = \frac{8r^2\pi \sin\alpha \cos\alpha}{4r^2\pi} = \sin 2\alpha \quad . \quad . \quad . \quad (21$$

Die Funktion $\sin 2\alpha$ erhält aber ihren grössten Werth für $\alpha = \frac{\pi}{4}$ also bei einem Winkel von 45°, und es ist dann

$$c_1 = c_2 = \frac{c}{\sqrt{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22$$

Es ist demnach am wahrscheinlichsten, dass sich die Kugeln K und K_1 unter einem Winkel von 45° begegnen, und beide mit gleicher Geschwindigkeit $\frac{c}{\sqrt{2}}$ unter dem genannten Winkel gegen die ursprüngliche Richtung auseinanderziehen.

Mit Hilfe derselben Formel (21.) findet man durch leichte Rechnung, dass die Wahrscheinlichkeit w eines Zusammenstosses innerhalb der Grenzwerthe $\frac{\pi}{4} + \beta$ und $\frac{\pi}{4} - \beta$ ausgedrückt werden kann, durch:

$$w = \sin 2\beta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23.$$

Damit w gleich $\frac{1}{2}$ werde, müsste $\beta = 15°$ sein, und α zwischen den Grenzen $\alpha = 30°$ und $\alpha = 60°$ liegen. Innerhalb dieser Grenzwerthe wird im Durchschnitte die halbe Anzahl sämmtlicher Zusammenstösse liegen, und die Geschwindigkeiten c_1 und c_2 der Kugeln nach dem Zusammenstosse werden innerhalb dieses Intervalles zwischen den Grenzen $\frac{c}{2}$ und $\frac{c}{2}\sqrt{3}$ variiren.

Nr. 2. (Zu §. 16. Resultirende eines Sistemes von Kräften.) Wenn wir uns in einem Punkte S (dem Schwerpunkte eines Sistemes, Fig. 12) eine beliebige Anzahl r von verschieden gerichteten Kräften vereiniget denken, wobei jede Richtung der Letzteren als gleich wahrscheinlich angesehen werden kann, so können wir die Resultirende derselben auf folgende Art berechnen:

Es bezeichne $p = mc$ das Mass einer solchen Kraft, und es sei die Masse m und die Geschwindigkeit c bei allen materiellen Theilchen (Atomen) des Sistemes gleich. Die Resultirende dieser Kräfte wird dann durch den Ausdruck

$$p_1 = rmc_1$$

gemessen werden können, wenn c_1 die Geschwindigkeit der fort-

Digitized by Google

schreitenden Bewegung des Schwerpunktes bezeichnet. Diese Geschwindigkeit wird sich aus der Gleichung

$$c_1 = f\ (c)$$

berechnen lassen, wobei f eine vorderhand noch unbekannte Function darstellt.

Nehmen wir nun an, es seien in einem anderen Falle $r.r = r^2$ Kräfte in einem Punkte S vereiniget, so lassen sich diese in r Gruppen abtheilen, und jede dieser Gruppen wird eine Resultirende p_1 geben, deren Geschwindigkeit c_1 aus der oberen Gleichung berechnet werden kann. Die so erhaltenen r Resultirenden werden zwar durchschnittlich gleich gross, aber nach verschiedenen Seiten gerichtet sein, und weil auch bei diesen jede Richtung gleich wahrscheinlich ist, so wird die Resultirende dieser r Resultirenden in ganz gleicher Weise aus p_1 berechnet werden können, wie p_1 aus p berechnet worden ist, d. h. es wird die der Endresultirenden p_2 entsprechende Geschwindigkeit c_2 aus der Gleichung folgen:

$$c_2 = f\ (c_1)$$

Dasselbe Verfahren kann nun auch auf r^3, r^4, . . . r^x Kräfte angewendet werden, und es handelt sich hier nur um die Ermittelung der Functionsform f.

Nachdem r jede beliebige Zahl vorstellen kann, so empfiehlt es sich, von dem einfachsten Falle, für $r = 2$ auszugehen. Nun zeigt es sich aber, dass das arithmetische Mittel aus allen spitzen und stumpfen Winkeln, welche ein beweglicher Strahl mit einem anderen, unbeweglich gedachten Strahle bilden kann, wenn alle Richtungen des Ersteren gleich wahrscheinlich sind, gleich 90°, $\left(\text{oder} \frac{\pi}{2}\right)$ ausfällt; denn jeder Winkel α kommt im Durchschnitte eben so oftmahl vor, wie der Winkel 180—α (s. Fig. 13 Taf. II). Wenn man sich also sämmtliche Winkel in zwei Gruppen abgetheilt denkt und annimmt, der Winkel α komme $n$mal, der Winkel α_1 $n_1$mal u. s. w. vor, so ist das arithmetische Mittel A aus sämmtlichen Winkeln:

$$A = \frac{n\,\alpha + n\,(180-\alpha) + n_1\,\alpha_1 + n_1\,(180-\alpha_1) + \ldots}{n + n + n_1 + n_1 + \ldots.}$$

$$A = \frac{180\,(n + n_1 + n_2 + \ldots)}{2\,(n + n_1 + n_2 + \ldots} = 90$$

Digitized by Google

Man kann daher die Resultirende aus zwei gleichen Kräften von der Grösse mc, aus der Gleichung berechnen:

$$2mc_1 = \frac{mc}{\cos\frac{\pi}{4}} = mc\sqrt{2}$$

$$\text{daher ist: } c_1 = \frac{c}{\sqrt{2}} .$$

Es ist nun hiermit die Functionsform f (für $r = 2$) bestimmt und man kann in der früher erklärten Weise die resultirende Geschwindigkeit c_2 eines Sistemes von 4 Kräften berechnen, durch:

$$c_2 = \frac{c_1}{\sqrt{2}} = \frac{c}{2}$$

Ebenso ist dann für 2^x Kräfte:

$$c_x = \frac{c_{x-1}}{\sqrt{2}} = \frac{c}{\sqrt{2^x}}$$

Wenn aber m die Masse eines in dem Sisteme enthaltenen materiellen Theilchens (Atomes) bezeichnet, so ist $m.2^x = M$ die Masse aller (2^x) Atome, daher lässt sich die resultirende Geschwindigkeit eines Sistemes von $n = 2^x$ Atomen, deren jedes die Geschwindigkeit c besitzt, ausdrücken, durch:

$$c_x = c\sqrt{\frac{m}{M}} \text{ oder es ist:}$$

$$Mc_x^2 = mc^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24.$$

Nr. 3. (Zu §. 15. Abnahme der Zahl der Zusammenstösse zwischen Molecülen gleicher Grösse, wenn sich je zwei der Letzteren nach jedem Zusammenstosse zu einem Körper vereinigen.) Bezeichnet ρ den Durchmesser, c die Geschwindigkeit und r die mittlere Entfernung der Molecüle, so wurde schon früher (auf Seite 32) für die Zeit T zwischen zwei Zusammenstössen eines Molecüles mit einem anderen (nach Clausius) die Formel aufgestellt:

$$F = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\rho}{c} \cdot \left(\frac{r}{\rho}\right)^3$$

Sind in einem (würfelförmigen) Raume n Molecüle, so ist $nr^3 = V$, wenn V das Volumen desselben bezeichnet. Dann kann die obige Formel auch in der Form geschrieben werden:

$$T = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{V}{c.n.\rho^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25.$$

Wenn sich nach einmaligem Zusammenstosse je zwei und zwei Molecüle (durchschnittlich) in eines vereiniget haben, so wird

Digitized by Google

die Zeit T_1 zwischen zwei Zusammenstössen dieser auf das Doppelte ihrer Masse angewachsenen Molecüle, aus derselben Formel (25) berechnet werden können, wenn man in der Letzteren statt ρ^3 $2\rho^3$, statt n $\frac{n}{2}$, und mit Berücksichtigung der Gleichung 24, statt c, $c\sqrt{\frac{1}{2}}$ setzt. Das Volumen V denke man sich constant. Man erhält dann für T_1 den Ausdruck:

$$T_1 = T.2^{\frac{5}{6}}$$

Wenn man sich diesen Vorgang so oftmal wiederholt denkt, bis die Masse M eines Molecüles auf $M.2^x$ angewachsen ist, so hat man zur Berechnung der Zeit T_x zwischen zwei Zusammenstössen die Formel (25) in ähnlicher Weise zu transformiren und erhält:

$$T_x = T.2^{\frac{5}{6}x} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (26$$

Nimmt man z. B. $x = 24$ an, so ist $M_1 = M.2^{24} =$ 16,780.000 M und $T_x = 1.049.000$ T. Sobald also z. B. die Masse der Molecüle auf das 17 Millionenfache angewachsen ist, werden die Zusammenstösse Millionenmal seltener.

Nr. 4. (Zu §. 22. Dichte und Spannkraft des Weltgases.) Nachdem die Bewegungsverzögerung, welche die Weltkörper durch das Weltgas erleiden, kaum wahrnehmbar ist, so muss die Dichte des Letzteren eine sehr geringe sein, und es lässt sich ein Grenzwerth für dieselbe auf folgende Art berechnen:

Es sei v die Umfangsgeschwindigkeit eines Planeten, welcher sich in einem Widerstand leistenden Mittel bewegt und dabei eine Verzögerung der Geschwindigkeit (bei geradliniger Bewegung) in der Secunde um dv erfahren würde. Diese Verminderung wird in erster Linie eine Veränderung in der Excentricität e seiner Bahn bewirken, und den Planeten dann auch der Sonne zu nähern streben. Die Abnahme der mittleren Entfernung muss sich aber wieder durch die Verkürzung der Umlaufszeit äussern. (3. Keppler'sches Gesetz.)

Bezeichnet T die Umlaufszeit des Planeten, dT die Abnahme derselben während eines Umlaufes und E die Entfernung von der Sonne, so lässt sich bekanntlich die Excentricität der Bahn aus der Formel berechnen: (Duhamel, Anal. Mechanik II. Thl.)

Digitized by Google

$$1 + e = \frac{Ev^2 \sin\alpha}{k\mu}$$

wobei μ die Summe der Masse der Sonne und des Planeten, k eine Constante, und α den Winkel der Tangente mit dem Radiusvector in dem betrachteten Orte bezeichnet.

Die Aenderung der Excentricität de, hervorgebracht durch die Aenderung der Geschwindigkeit um dv, lässt sich, wie leicht zu sehen, ausdrücken durch:

$$de = \frac{2.dv}{v} (1 + e)$$

Wenn wir z. B. die Erde in ihrem Laufe durch den mit Weltgas erfüllten Raum betrachten, und der Einfachheit halber annehmen, dass sich die Erde in vollkommen leerem Raume in einem Kreise bewegen würde, so müsste sie in dem Momente, als sie in ein widerstehendes Mittel gelangt, derart abgelenkt werden, dass das Element der Bahn nunmehr einer Elipse von der Excentricität de angehört.

Könnte sich die Erde, nach dieser Ablenkung, wieder in einem absolut leeren Raume weiter bewegen, so würde sie eine Elipse beschreiben, und die mittlere Entfernung von der Sonne würde in dieser Bahn $E - \frac{2Edv}{v}$ betragen.

Wenn man sich diese Distanz-Abnahme, welche doch nur allmählig eintreten kann, auf T Sekunden vertheilt denkt, so würde im Durchschnitte auf eine Secunde eine Abnahme: $\frac{2Edv}{v.T}$ des Leitstrahles entfallen.

Denkt man sich diesen Vorgang in jeder Secunde wiederholt, so kann man annäherungsweise, und mit Rücksicht darauf, dass die Excentricität der Bahn stets sehr klein bleibt, annehmen, dass nach einem Umlaufe (in T Secunden) die Abnahme der mittleren Entfernung auch das Tfache $\left(\frac{2Edv}{v}\right)$ betragen wird, wodurch sich die Verkürzung der Umlaufszeit, nach dem 3. Keppler'schen Gesetze berechnet, aus der Formel ergibt:

$$\frac{dT}{T} = \frac{3}{2} \frac{dv}{v}$$

Nimmt man $v = 29.370$ Meter, $T = 31557600$ Sec. an, so ist:

$$dv = 0{\cdot}0006205\ dT$$

Aus der in §. 6 entwickelten Formel (5) zur Berechnung der

Digitized by Google

Verzögerung dv (dort dC), welche ein Körper vom Radius ρ und der Masse M in der Zeit dt (= 1 Secunde) erleidet, lässt sich die Atomenmasse m^1 ermitteln, welche in der Zeiteinheit auf eine Flächeneinheit (einen Quadratmeter) auffällt. Es ist nemlich:

$$m^1 = \frac{dv}{v} \cdot \frac{M}{8\rho^2\pi}$$

Bezeichnet man mit L die Masse der materiellen Atome, welche in einem Cub. Meter atmosphärischer Luft, bei 760^{mm} Druck und 0° C. enthalten sind, und nimmt die Dichte der Erde mit 5·5, die Dichte der atmosphärischen Luft mit 0·0013 an, so erhält man:

$$m^1 = 94{\cdot}92\, L.dT \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (27.$$

Es lässt sich aber leicht nachweisen, dass $m = \frac{1}{8} nmc$ ist, wenn m die Masse und c die Geschwindigkeit eines Atomes, und n die Zahl der Atome in einer Raumeinheit bezeichnet. Nimmt man die Geschwindigkeit der Atome mit 63000 geog. Meilen (= 467.400.000 Meter) an, so ist die Masse des in der Raumeinheit enthaltenen Weltgases:

$$nm = 4{\cdot}0608.10^{-7}\,.\, L.dT \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28.$$

und der Druck desselben, in Atmosphären (p) ausgedrückt:

$$P = 377290.p.dT \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (29.$$

Wenn man bedenkt, dass eine Abnahme der Jahreslänge um dT = 0·05 Sec. kaum mehr wahrgenommen werden kann, so ist es immerhin möglich, dass das Weltgas eine Dichte hat, die 50,000.000mal kleiner ist, als jene der atmosphärischen Luft, und dass es dabei eine Spannkraft von circa 19000 Atmosphären besitzt.

Man kann demnach diese Zahlen als Näherungswerthe für die Dichte und Spannkraft des Weltgases ansehen.

Nr. 5. (Zu §. 23. Berechnung des Koeffizienten $k = \frac{\tau}{t}$ für die Erklärung der Schwere). In §. 7. (Seite 20) wurde das Gesetz der Schwere aus der Einwirkung der in allgemeiner Bewegung begriffenen Atome auf grössere Körper abgeleitet, und für die Acceleration $\frac{dC}{dt}$ die Formel gefunden:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{\rho^2\rho_1{}^2\pi m^1 kc}{MM_1} \cdot \frac{\mu}{x^2}$$

In dieser Formel bezeichnet ρ und ρ_1 den Radius, M und M_1 die Masse der Molecüle beider Körper, x die Entfernung dieser Körper, und μ die Summe der Massen derselben. Ferner wurde

Digitized by Google

mit m^1 die Masse der in einer Zeiteinheit (Secunde) auf eine Flächeneinheit fallenden Atome, und c die Geschwindigkeit der Letzteren bezeichnet.

Es wurde schon im §. 8 darauf hingewiesen, dass man, um die gleiche Wirkung der Schwere auf alle Körper erklären zu können, die Molecüle, (oder in weiterem Sinne auch die Atome, aus denen das Molecül besteht) von solcher Beschaffenheit voraussetzen müsste, dass für alle Molecüle (oder Atome) die Gleichung besteht:

$$\frac{\rho^3}{M} = \frac{\rho_1{}^3}{M_1}$$

Nehmen wir ferner an, es sei μ die Masse der Erde, und $x = 6377400$ Meter der Halbmesser derselben, so wird $\frac{dC}{dt} = g =$ 9·8145 Meter (Acceleration am Aequator) angenommen werden müssen.

Nachdem es sich hier nur darum handelt, ob der Druck des Weltgases hinreicht, um die Wirkungen der Schwere erklären zu können, so wollen wir z. B. $\rho = 10^{-8}$, und die Entfernung der Molecüle in einem festen Körper von der Dichte unserer Erde (5·5), $r = 10^{-7}$ Meter annehmen. (Vergleiche Seite 49.)

Es wird dann in einem Cubikmeter Erde eine Masse gleich: $10^{21} M$ enthalten sein, und ebenso wird, mit Rücksicht auf die Formel 27, und wegen

$$L = \frac{0·0013}{5·5} \cdot 10^{21} M = 2·364.10^{17} M$$

auch: $m^1 = 1·122.10^{18} M$ angenommen werden müssen.

Wenn man diese Werthe in die Gleichung:

$$K = \frac{M^2 x^2}{\rho^4 \pi m^1 c \mu} \frac{dC}{dt}$$

substituirt, so erhält man als Werth von K:

$$K = \frac{2·23}{10^{33}}$$

Es stellt sich demnach heraus, dass ein äusserst kleiner Bruchtheil des Weltgasdruckes hinreicht, um das, was wir als S c h w e r e bezeichnen, hervorbringen zu können. Würde man den Radius der Molecüle noch kleiner annehmen, so würde sich auch der Werth von K noch vermindern.

Digitized by Google

Nr. 6. (Zu §. 34. Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der schwingenden Bewegung in einem Gase.) Wenn einem Atome A, (Fig. 15) welches die Eigengeschwindigkeit c besitzt, ein Stoss ertheilt wird, der diese Geschwindigkeit um C vermehrt, so wird dieses Atom den Geschwindigkeitszuwachs C beim Zusammenstosse an ein zweites Atom ganz oder zum Theile abgeben, so dass sich derselbe nach und nach auf verschiedene Atome fortpflanzt.

Nachdem aber die Zusammenstösse unter verschiedenen Winkeln stattfinden können, so wird diese Fortpflanzung nach irgend einer Richtung AS nicht in einer geraden, sondern in einer gebrochenen Linie $ABCD \ldots S$ stattfinden. Es wird daher der dem Atome A ertheilte Stoss nach n Zeitintervallen von der Dauer t den Punkt S erreichen, wenn t die Zeit bezeichnet, welche durchschnittlich zwischen zwei Zusammenstössen benachbarter Atome vergeht, und welche ein Atom benöthiget, um eine mittlere Weglänge R_1 zurückzulegen.

Bezeichnet man mit c_1 die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Stosses in der Richtung AS, so wird die Proportion stattfinden:

$$c : c_1 = nR_1 : AS = nR_1 : \Sigma R_1 \cos\alpha$$

$$\text{und } c_1 = c \cdot \frac{\Sigma \cos\alpha}{n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (30.$$

Den Ausdruck $\frac{\Sigma \cos\alpha}{n}$, welcher das arithmetische Mittel aller möglichen Projectionen der mittleren Weglängen auf eine bestimmte Richtung AS bezeichnet, können wir dadurch am einfachsten berechnen, dass wir uns sämmtliche Kugeln (Atome) als ruhend denken, und dann erst die Fortpflanzung des einem Atome A ertheilten Stosses nach der bestimmten Richtung AS verfolgen.

Es kann dieses in ähnlicher Weise wie in Nr. 1 des Anhanges geschehen; denn der Fall, in welchem die anprallenden Atome unter dem Winkel α gegen AS abprallen werden, muss sich durchschnittlich $2\rho\pi \sin\alpha . 2\rho \cos\alpha . d\alpha$mal ereignen, wenn man, wie dort, annimmt, dass die Wahrscheinlichkeit dieses Ereignisses proportional ist dem ringförmigen Flächenelemente S_1 (Fig. 11).

Man erhält dann:

$$\frac{\Sigma \cos\alpha}{n} = \frac{\int_0^{\frac{\pi}{2}} 4\rho^2\pi \sin\alpha \cos^2\alpha \, d\alpha}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} 4\rho^2\pi \sin\alpha \cos\alpha \, d\alpha} = \frac{2}{3}$$

Digitized by Google

daher auch, mit Rücksicht auf die Gleichung (30:

$$c_1 = \tfrac{2}{3} c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (31$$

d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der schwingenden Bewegung in einem Gase nach einer bestimmten Richtung, ist gleich, zwei Drittheilen der Atomgeschwindigkeit.

Hiernach kann man auch umgekehrt, aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit einen Schluss auf die Geschwindigkeit der Atome ziehen.

Die Geschwindigkeit des Schalles beträgt bekanntlich 332 Meter per Secunde; es müsste demnach die Geschwindigkeit der Luftmolecüle $\frac{3}{2} \times 332 = 498$ Meter betragen.

Nach anderen verlässlicheren Methoden ergibt sich aber diese Geschwindigkeit mit 485 Meter, (s. z. B. die Abhandl. über Mech. Wärmeth. von R. Clausius. II. S. 255) also um etwas kleiner. Dieser Unterschied mag seinen Grund darin haben, dass die atmosphärische Luft in gewöhnlichem Zustande niemals völlig trocken ist, die Anwesenheit des Wasserdampfes aber, der Erfahrung gemäss die Schallgeschwindigkeit erhöht.

Nr, 7. (Zu §. 26. Dichte des intermolecularen Weltgases.) Um die zwischen den Molecülen eines Körpers eintretende Verdichtung des Weltgases zu berechnen, kann die in §. 12 aufgestellte Formel (20) dienen; man hat darin nur für R_1 den aus (15) (Seite 48) entnommenen Werth zu substituiren. Bezeichnet:

ρ den Radius eines Molecüles,
c die Geschwindigkeit, und
τ die An- und Abprallszeit der Atome,
δ die Dichte des äusseren, freien Weltgases,

so hat man in Rücksicht darauf, dass r die mittlere Entfernung der Molecüle, also nr^3 den Raum v vorstellt, in welchem sich n Molecüle befinden, für die Dichte d des intermolecularen Weltgases die Formel:

$$d = \delta \left(1 + \frac{c\,\tau}{0{\cdot}110} \cdot \frac{n}{v} \cdot \rho^2\right)^3 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32$$

Nr. 8. (Zu §. 26. Vollständige Formel zur Berechnung der Spannkraft der Gase.) Der Druck eines Gases besteht aus zwei Theilen:

Digitized by Google

1. Aus der Spannkraft p_1 des betreffenden Gases selbst, und 2. aus der Spannkraft p_2 des zwischen den Molecülen befindlichen Weltgases.

p_1 wird durch die bereits früher (Seite 33) entwickelte Formel (13) oder (14) ausgedrückt:

$$p_1 = \frac{nmc^2}{3v + 4\pi nc\tau\rho^2} = \frac{A}{v+z}$$

und p_2 kann durch einen ganz ähnlichen Ausdruck berechnet werden, wenn darin für n, m, c, τ und ρ die gleichnamigen Dimensionen der Atome des Weltgases gesetzt werden.

Es bedeutet dann n^1 die Anzahl der Weltgasatome, welche in dem Raume v enthalten sind, und es ist daher der Quotient $\frac{v}{n^1}$ proportional der früher berechneten Dichte d. Wenn man dieses berücksichtiget, und in der Formel (32) der Kürze wegen den folgenden Ausdruck mit k^1 bezeichnet:

$$k^1 = \frac{c\tau\rho^2}{0{\cdot}110 . n}$$

so erhält man für die Spannkraft des Gases $P = p_1 + p_2$ den Ausdruck:

$$P = \frac{A}{v+z} + \frac{A_1\left(1+\frac{k^1}{v}\right)^2}{1+z_1\left(1+\frac{k^1}{v}\right)^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33$$

A und A_1 bezeichnen Coefficienten von ähnlicher Bedeutung, die sich nur mit der Temperatur des Gases ändern.

A_1 wird übrigens auch einen geringeren Werth als A erhalten, weil das Weltgas nicht derart abgeschlossen werden kann, wie das Moleculargas, weshalb es auch nur zum Theile seine Spannkraft äussert; z und z_1 sind ähnlich zusammengesetzte Grössen, u. z. ist:

$$z = \frac{4}{3}\pi c\tau\rho^2$$

Diese Grössen stellen demnach eine Function von τ vor, und sind mit diesem Werthe veränderlich. — Die zum Nachweise dieser Veränderlichkeit auf Seite 104 angeführten Zahlen wurden dadurch berechnet, dass für den Wasserstoff:

$A = 0{\cdot}9960$, $A_1 = 0{\cdot}001488$, $z = 0{\cdot}0001$, und $k^1 = 0{\cdot}4$ angenommen worden ist. Der Werth für k^1 ist jedenfall eher zu gross als zu klein gewählt worden; für einen kleineren Werth von k^1 tritt die Veränd rlichkeit von τ noch viel greller hervor; z_1 ist

Digitized by Google

eine sehr kleine Zahl, und konnte bei dieser Rechnung unberücksichtiget bleiben.

Bei der Berechnung der Spannkraft des Stickstoffes wurde $k' = 0{\cdot}5$, bei der Kohlensäure $k' = 0{\cdot}6$ (des grösseren Molecularradius ρ wegen) angenommen. A und A_1 blieben dieselben wie beim Wasserstoffgase.

Nr. 9. (Zu §. 39. Temperatur der Molecüle.) Die Moleculara tome erhalten ihre lebendige Kraft (Wärme) durch die von aussen an das Molecül anprallenden Atome des Weltgases.

Jedes dieser Atome überträgt dem Molecüle für eine kurze Zeit τ seine Bewegung, welche sich wieder im Inneren des Molecules an die demselben angehörenden Atome vertheilt. — Die Molecularatome aber, die jedenfalls wesentlich grösser gedacht werden müssen, als die übrigen freien Atome des Weltgases *), bewegen sich in einem widerstehenden Mittel, welches aus den zwischen denselben circulirenden Atomen des stark verdichteten, intermolecularen Weltgases besteht.

Die Molecularatome werden somit die erhaltene lebendige Kraft bald wieder an die Atome des Weltgases zurückgeben, wodurch diese wieder vom Molecüle wegfliegen (abprallen) können.

Wenn man sich diese Wechselwirkung ununterbrochen fortgesetzt denkt, so wird man einen Begriff erhalten von den steten Schwingungen, in welchen sich die Molecularatome befinden. Der im Molecüle zu jeder Zeit vorhandene Antheil an lebendiger Kraft bildet die Wärme derselben, und lässt sich auf der eben gegebenen Erklärung in folgender Weise ermitteln:

Bezeichnet wieder:

m die Masse, ρ den Radius, ρ^3 das relative Volumen und s die Dichte eines Molecüles,

μ die Masse, c die Geschwindigkeit, σ die Dichte, τ die An- und Abprallszeit eines Atomes, endlich

n die Anzahl der Molecüle in einem Volumen v, und nehmen

*) Dieser Umstand wurde zwar in §. 15 nicht ausdrücklich bemerkt; er versteht sich aber insoferne von selbst, als die dort gegebene Beschreibung der Entstehung der Molecüle sich auf die in Seite 38 und S. 54 angeführten Erklärungen bezieht, in welchen die Einwirkung der in allgemeiner Bewegung begriffenen kleineren Atome, auf grössere Atome (oder Molecüle) beschrieben worden ist.

Digitized by Google

wir an, dass in der Zeiteinheit n^1 Atome des Weltgases, jedes von der Masse μ^1 gegen eine Flächeneinheit stossen, so wird die lebendige Kraft, welche dem Molecüle in irgend einer Zeit dt zugeführt wird, ausgedrückt werden können, durch:

$$L = 4\rho^2\pi . n^1\mu^1c^2$$

Von dieser lebendigen Kraft bleibt aber nur ein kleiner Bruchtheil im Molecüle, und dieser Theil wird durch das Verhältniss $\tau:t$ (der An- und Abprallszeit, zur Zeit t zwischen dem Anpralle je zweier in gleicher Richtung ziehenden Atome) gemessen werden können, welches die Zeit bezeichnet, durch welche hiedurch die lebendige Kraft im Molecüle verbleibt. Diese Kraft aber vertheilt sich im inneren auf N Molecularatome, so dass schliesslich die lebendige Kraft eines Molecularatomes gleich sein wird:

$$T = \frac{4\pi\mu^1c^2n^1\tau\rho^2}{tN}$$

Nun ist noch zu berücksichtigen, dass n^1, (die Zahl der anprallenden Atome) mit der Dichte des Weltgases proportional zunimmt, so dass wir mit Rücksicht auf Formel (32), wenn wir gleichzeitig den dort vorkommenden Ausdruck mit K bezeichnen,

$$K = \frac{c\tau}{0{\cdot}110} \cdot \frac{n}{v} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (34$$

für n^1 den Werth setzen müssen: $n_1 \; (1 + k\rho^2)^3$.

Ferner kann die Zahl N berechnet werden aus der Gleichung

$$\frac{4}{3}\rho^3\pi s = N\mu$$

Dieses alles berücksichtiget, erhält man für die Temperatur T eines Molecüles die Formel:

$$T = \frac{3n_1\mu^1c^2\tau}{t} \cdot \frac{\mu}{s\rho} (1 + K\rho^2)^3 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (35$$

Diese Formel gilt nur unter der Bedingung, dass sich der auf dem Körper lastende äussere Druck nicht ändert, so dass die durch den Factor $(1 + k\rho^2)^3$ ausgedrückte Vergrösserung in der Dichte des intermolecularen Weltgases nicht dem vermehrten äusseren Drucke, sondern der Vergrösserung des Radius ρ (beim Zusammenfliessen je zweier Molecüle) zuzuschreiben ist; denn nur in diesem Falle kann angenommen werden, dass die dem verdichteten Weltgase entzogene lebendige Kraft auf die Molecularatome übertragen worden ist, wodurch sich die Spannkraft des dichter gewordenen Gases in demselben Masse vermindert hat.

Digitized by Google

Bei den in §. 39 ausgeführten Rechnungen wurde vorläufig τ als constant betrachtet, obwohl es in der Wirklichkeit variabel ist, und nachdem auch der äussere Druck constant bleibt, so wird, so lange wir uns den Körper in gasförmigem Zustande denken, sehr nahe auch der in K vorkommende Quotient

$$\frac{n}{v}$$

constant bleiben; denn in dem Masse als die Zahl n der Molecüle abnimmt, wird sich auch das Volumen v des aus denselben gebildeten Körpers vermindern.

Wenn aber n und v, bei fortgesetzter Vergrösserung der Molecüle, sehr klein geworden sind, so ist das Verhältniss $n : v$ aus der Formel 13, (S. 33) zu berechnen, und es stellt sich dann, (wie man sich leicht überzeugen kann) heraus, dass dieses Verhältniss mit der zunehmenden Grösse der Molecüle wächst, so dass K auch in demselben Masse zunimmt.

Würde man T für eine andere Körpertemperatur berechnen wollen, so müsste man auf die durch eine Temperaturerhöhung hervorgebrachte Erhöhung der Geschwindigkeit c, und auf die Vergrösserung des Volumens v Rücksicht nehmen. Es würde in diesem Falle K kleiner ausfallen müssen.

Um die Schmelztemperatur der Molecüle zu berechnen, kann man sich der Formel (5) in §. 6 bedienen, welche angibt, in welchem Verhältnisse sich die Geschwindigkeit eines materiellen Theilchens während der Bewegung im widerstehenden Mittel vermindert. — Das Schmelzen des Molecüles tritt dann ein, wenn die Bestandtheile desselben in fortschreitende Bewegung gerathen sind, und sie werden desto leichter in diese Bewegung gerathen, je geringerem Widerstande sie während ihrer Bewegung begegnen.

Ich habe in Ermangelung anderer Anhaltspuncte vorläufig angenommen, dass die Schmelztemperatur F eine (einfache) Function des aus der Formel 5 berechneten Bewegungs-Widerstandes sein werde, welcher Widerstand hier proportional ist dem Ausdrucke:

$$x = \frac{n^1 \rho^2}{\mu} = \frac{d}{\sqrt[3]{\mu \sigma^2}}$$

wenn d die Dichte des zwischen den Molecularatomen circulirenden Weltgases bezeichnet. Mit Hilfe dieses Argumentes wurde die einfache empirische Formel aufgestellt:

Digitized by Google

$$F = \beta x + \gamma \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (36$$

welche zur Berechnung der auf Seite 124 angeführten Schmelztemperaturen gedient hat.

Für die Abhängigkeit zwischen s und σ wurde die vereinfachende Voraussetzung gemacht:

$$s = f \, . \, \sigma$$

wobei f als constant angenommen worden ist.

Wie man sieht bedürfen diese Ausdrücke alle noch der weiteren Ausführung und Vervollständigung, und es sollen diese Andeutungen nur dazu dienen, um den Weg zu bezeichnen, auf welchem man zur Lösung dieser für die mechanische Theorie der chemischen Verbindungen wichtigen Aufgabe gelangen könne.

Digitized by Google

Inhalts-Verzeichnis.

Erste Abtheilung.

Zweite Abtheilung.

Digitized by Google

C 42405

Druck von Carl Finsterbeck in Wien

Fig. 1.

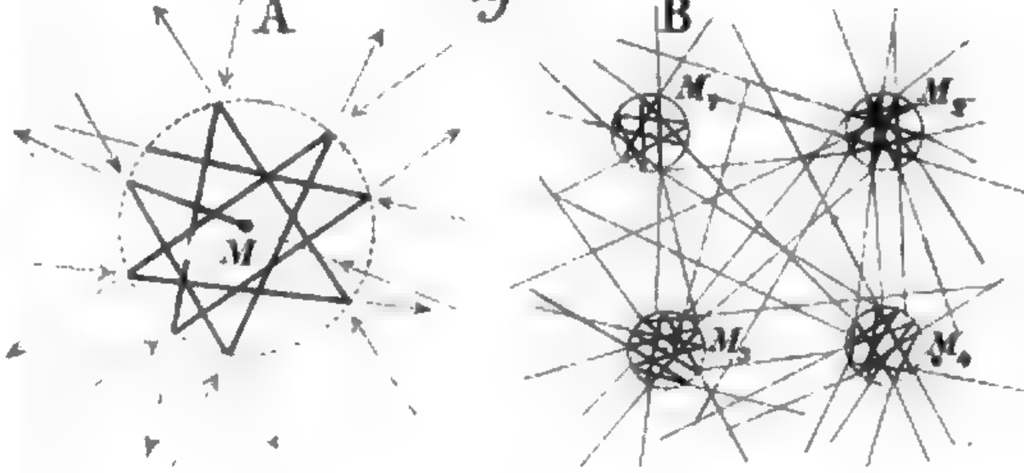


Fig. 2.

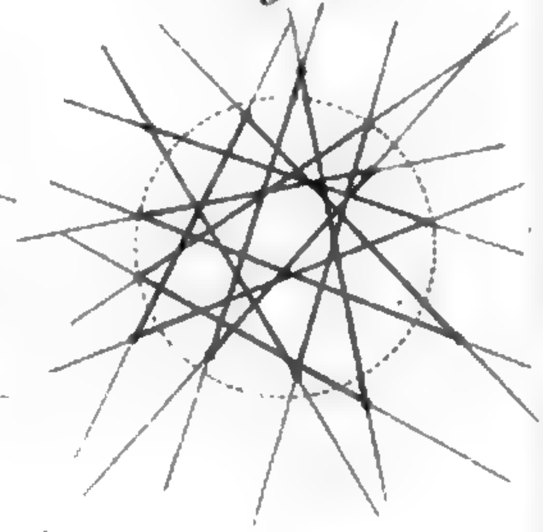


Fig. 3.

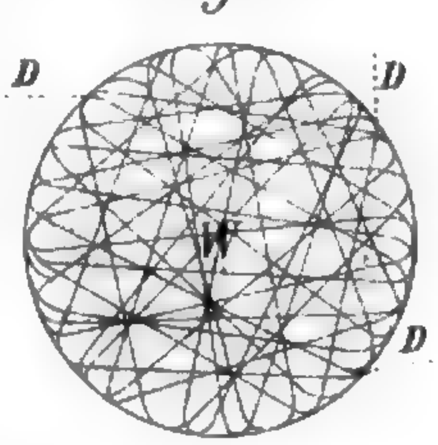


Fig. 4.

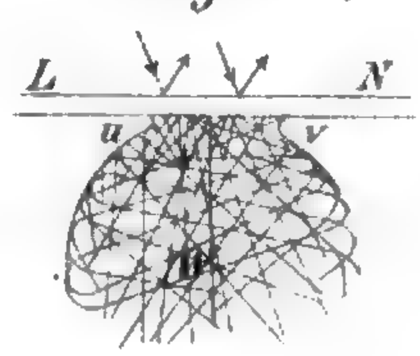


Fig. 5.

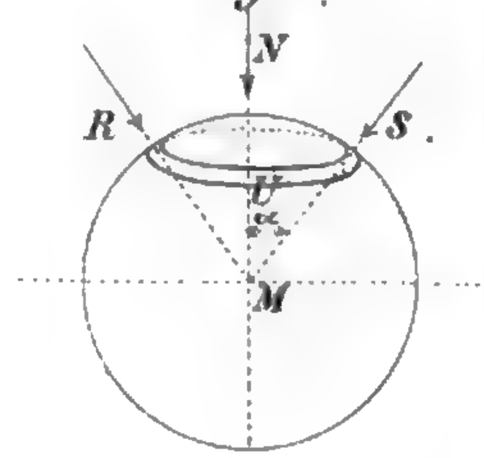


Fig. 6.

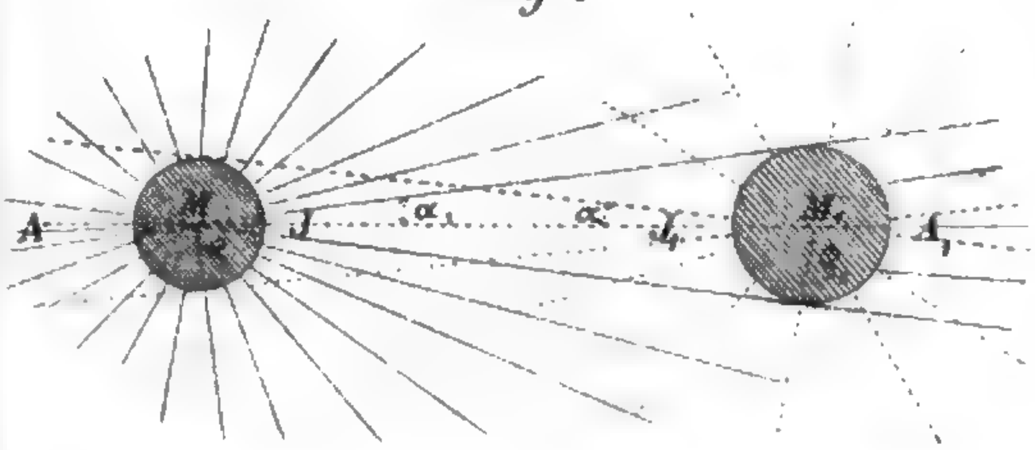


Fig. 7.

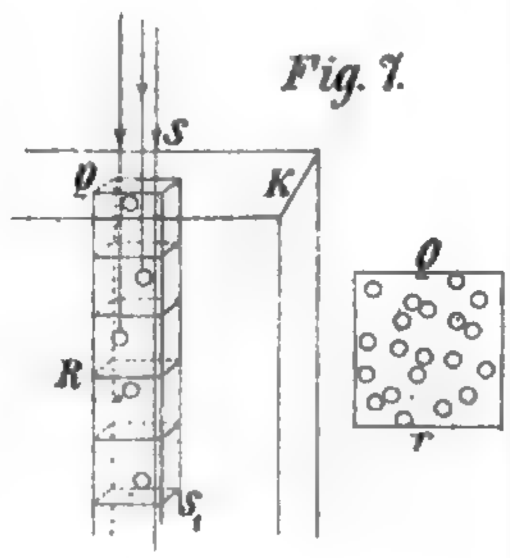


Fig. 8.

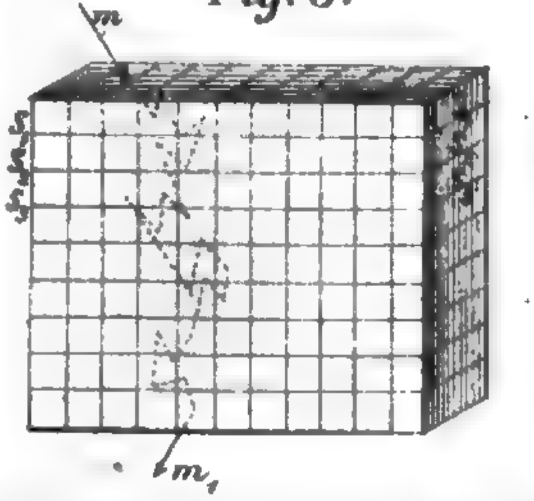
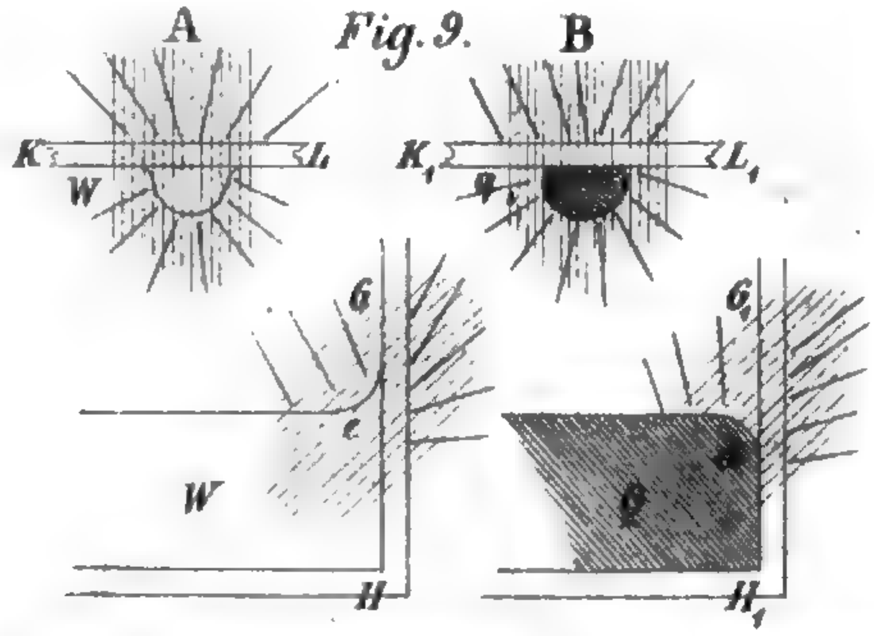


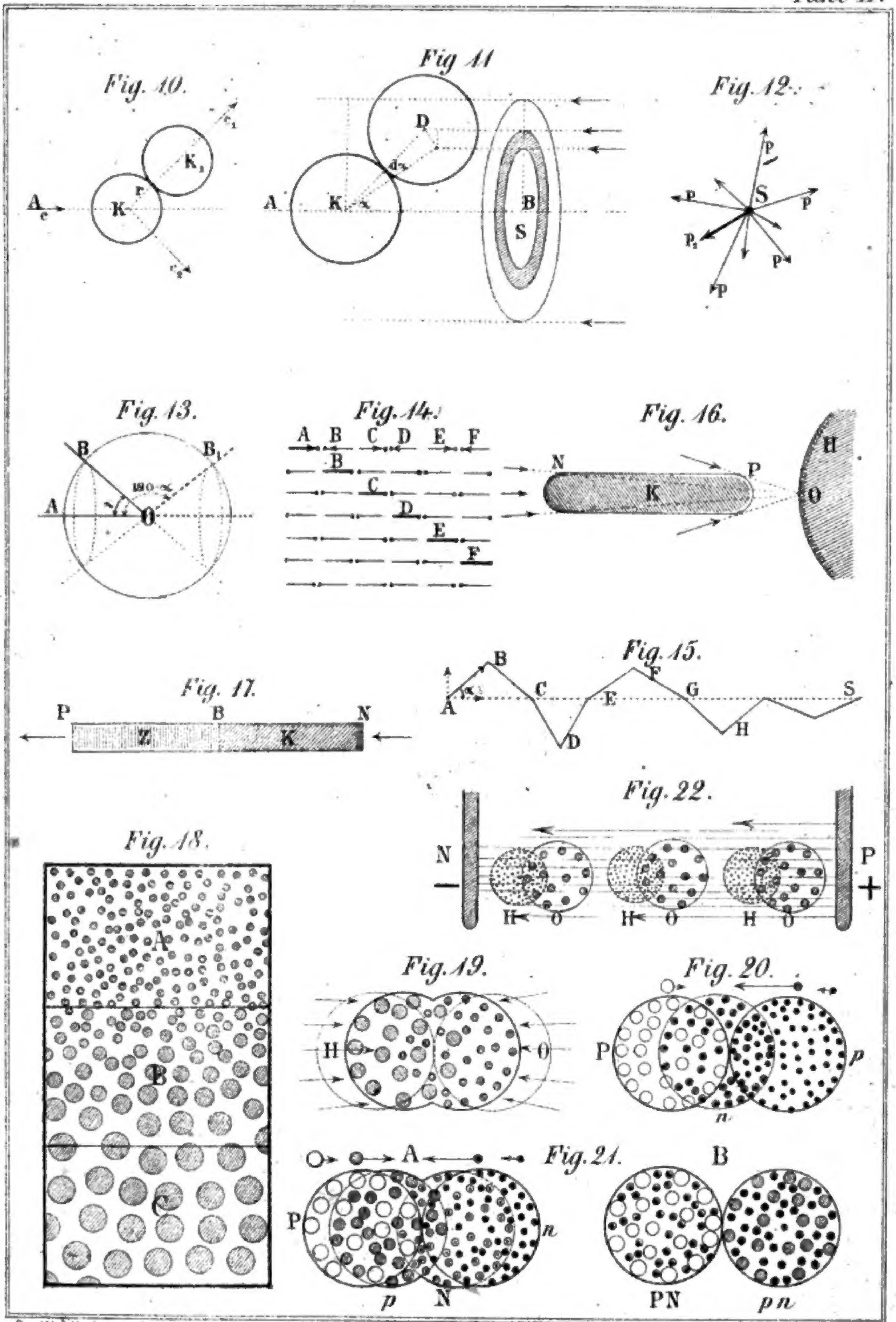
Fig. 9.



R. v. Waldheim, Wien. H. S.

Biblioteca Nazionale NAPOLI V.E. III

Digitized by Google



R. v. Waldheim art. Anst. Wien

H. S.

Digitized by Google

Biblioteca Nazionale
NAPOLI
V. E. III

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google